



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA



Melhoria da Eficiência Energética do Processo de Produção de Molas para a Indústria Automóvel

INÊS SIMÕES JAREGO NICOLAU
(Licenciada em Engenharia Química e Biológica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Química e Biológica

Orientador (es):

Prof. Doutor João Miguel Alves da Silva
Eng. Miguel Pereira

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Gomes

Vogais:

Profª Doutora Cristina Fernandes
Prof. Feliz Mil-Homens
Eng. Miguel Pereira

Dezembro de 2014



ISEL

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA**



Melhoria da Eficiência Energética do Processo de Produção de Molas para a Indústria Automóvel

INÊS SIMÕES JAREGO NICOLAU
(Licenciada em Engenharia Química e Biológica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Química e Biológica

Orientador (es):

Prof. Doutor João Miguel Alves da Silva
Eng. Miguel Pereira

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Gomes

Vogais:

Profª Doutora Cristina Fernandes
Prof. Feliz Mil-Homens
Eng. Miguel Pereira

Dezembro de 2014

Agradecimentos

Este Trabalho Final de Mestrado foi concluído com diversas ajudas, por isso mesmo gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos:

Ao meu orientador, Engenheiro João Silva por toda a disponibilidade e ajuda na elaboração deste trabalho.

Aos Engenheiros Miguel Pereira e Guilherme Vendeirinho por toda a informação disponibilizada sobre a empresa em questão, informação que foi essencial para a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais e irmão que nunca desistiram de mim e sempre me apoiaram e acreditaram em mim, independentemente das situações.

Às amigas de longa data por estarem presentes sempre que foi preciso, nem que fossem aquelas duas vezes significativas por ano. Em especial à Isabel Vitorino que sempre compreendeu um “não posso”.

Aos colegas e amigos Gonçalo Teixeira e João Carlos Costa, por me ajudarem tanto com este trabalho, por todas as ajudas, opiniões e paciência comigo nos momentos de desespero. Agradeço também à amiga Maria Inês Vitorino pela ajuda com alguns desenhos técnicos.

Agradeço ainda aos grandes amigos que tiveram comigo no início, durante e/ou no final do Mestrado, que me apoiaram e ajudaram, cada um à sua maneira, mas todos de uma forma muito especial e significativa, Beatriz Alexandre, Ana Lúcia Lopes, Marta Martins, Soraia Lourenço, Bruno Peixoto, Daniel Fragoeiro, Dina Mestre, Joana Firmino e Sandra Conceição.

Um agradecimento especial à comissão pedagógica do DEQ de 2007 – 2010, por estarem presentes nas melhores fases do meu percurso académico.

Por último agradeço a todo o apoio que tive no meu local de trabalho, por toda a disponibilidade e compreensão que sempre tiveram para comigo que me permitiu concluir os estudos da melhor forma possível.

Resumo

Este trabalho teve como principal objectivo a melhoria da eficiência energética da **Frauenthal Automotive Azambuja** na produção de molas para a indústria automóvel. Foram identificadas e quantificadas medidas, que permitem essa melhoria, quer do ponto de vista energético, quer do ponto de vista produtivo.

Numa primeira fase do trabalho foi efectuada uma análise à fábrica, em que foram contabilizados os consumos de gás natural e a produção de molas desde Janeiro de 2012 a Julho de 2013. Após essa análise detalhada foi possível verificar o tipo de fornos em que o consumo de gás natural é mais elevado, verificou-se que cerca de 75% do consumo de gás natural da fábrica é efectuado pelos fornos de laminagem e de têmpera.

De seguida foi efectuado o estudo de minimização de consumo de gás natural nos fornos de laminagem, para tal recorreu-se ao simulador de processos químicos, Aspen HYSYS. Foram efectuadas simulações do processo real, de processo com recirculação de ar e por fim com utilização de um permutador de calor para efectuar a troca de calor dos gases de combustão com o ar à entrada. Este último verificou-se o mais eficaz e o que permite maior percentagem de redução do consumo de gás natural. Com esta medida é possível reduzir o custo anual do consumo de gás natural entre os 6 e os 9%.

Na conclusão serão ainda apresentadas medidas alternativas e passíveis de serem estudadas para de futuro ser possível reduzir mais o consumo de gás natural na fábrica e com isso aumentar ainda mais a eficiência energética da mesma.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Frauenthal Automotive Azambuja, Gás Natural, Consumo, Produção, Laminagem, Têmpera, Forno, Permutador de Calor, Medidas.

Abstract

The present work had as main objective the improvement of energy efficiency of the production for automotive industry's springs in **Frauenthal Automotive Azambuja**. Were identified and quantified measures that allow the improvement, on both points of views: energy and production.

In the first part of this work it was made an analysis to the natural gas consumption and springs production since January 2012 until July 2013. After that analysis it was possible to verify that the natural gas consumption it's higher in two types of furnace, rolling and quenching. Among these types of furnaces the consumption is about 75% of the entire factory.

In the second part of this work it was made a study that allows to verify the possibility of minimization natural gas consumption, it was used a chemical processes simulation, Aspen HYSYS. Were simulated real processes, processes with recirculated air and processes with a heat exchanger that allows exchange heat between combustion air and entrance air. This last process type was the most effective one, and the only one that allows the biggest reduction of natural gas consumption. With this measure it's possible to reduce the annual turnover in about 6 to 9%.

In the conclusion of this work it will be presented alternative measures that may be applied at the factory in the future. Those measures will permit a bigger reduction of natural gas consumption and with that increase the energy efficiency of the production.

Keywords: Energy Efficiency, Frauenthal Automotive Azambuja, Natural Gas, Consumption, Production, Rolling, Quenching, Furnace, Heat Exchanger, Measures.

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo	III
Abstract	V
Índice de Figuras	IX
Índice de Tabelas	XIII
1. Introdução.....	1
1.1. A Empresa.....	1
1.2. Os Objectivos da Empresa.....	2
2. A Produção.....	5
2.1. Descrição do Processo Produtivo	5
2.1.1. Arrefecimento Forçado das Lâminas	8
2.2. Equipamentos Utilizados no Processo Produtivo	9
2.2.1. Fornos de Fenda	9
2.2.2. Fornos de Têmpera	10
2.2.3. Fornos de Revenido	10
2.3. Melhoria Implementada nos Fornos.....	11
2.4. Produção	12
2.5. Consumo	14
3. Metodologia	19
4. Eficiência Energética	23
4.1. Análise Energética ao Forno 511 / Linha 305	24
4.2. Análise Energética ao Forno 512 / Linha 408	26

4.3.	Análise Energética ao Forno 513 / Linha 405	28
4.4.	Análise Energética ao Forno 514 / Linha 409	30
4.5.	Análise Energética ao Forno 534 / Linha 406	32
4.6.	Análise Energética ao Forno 537 / Linha 602	34
4.7.	Comparação dos Resultados	37
5.	Simulação de Processos de Melhoria dos Fornos de Laminagem	39
5.1.	Estudos ao Forno 513 / Linha 405	39
5.2.	Estudos ao Forno 534 / Linha 406	45
5.3.	Estudos ao Forno 512 / Linha 408	49
5.4.	Estudos ao Forno 514 / Linha 409	52
5.5.	Análise Financeira	57
5.6.	Permutadores de Calor	58
5.7.	Alternativas aos Permutadores de Calor.....	59
6.	Conclusões	63
7.	Referências Bibliográficas	65
	ANEXO A.....	67
	ANEXO B.....	69
	ANEXO C	71
	ANEXO D	73

Índice de Figuras

Figura 1: Localização da Frauenthal Automotive Azambuja, Unipessoal Lda (Fonte: http://maps.google.pt).....	1
Figura 2: Imagem aérea da Frauenthal Automotive Azambuja, Unipessoal Lda (Fonte: http://maps.google.pt).....	2
Figura 3: Exemplo de molas de lâmina parabólicas (Fonte: Styria, 2012)	5
Figura 4: Layout do processo com descrição dos fornos/linhas (Fonte: Energy Workshop, 2010)	6
Figura 5: Fluxograma de todo o processo produtivo, incluindo entradas e saídas de massa e energia (Fonte: Pereira, 2009)	7
Figura 6: Fluxograma do processo produtivo na zona de laminagem e enrolamento de olhais (Fonte: Energy Workshop, 2010)	7
Figura 7: Estrados com lâminas quentes em processo de arrefecimento no exterior da fábrica (Fonte: Vendeirinho, 2013).....	8
Figura 8: Forno de Fenda utilizado nas linhas de laminagem (Fonte: Vendeirinho, 2013)	9
Figura 9: Forno de Fenda utilizado nas linhas de enrolamento de olhais (Fonte: Vendeirinho, 2013)	10
Figura 10: Antes e após o fecho dos fornos em 20%, em Junho de 2012, no forno 534/ linha 406 (Fonte: Pereira, 2012)	11
Figura 11: Peso total de lâminas processadas ao longo do ano de 2012	12
Figura 12: Peso total de lâminas processadas ao longo do ano de 2012 nas diferentes linhas de produção.....	12
Figura 13: Peso total de lâminas processadas nos 7 primeiros meses de 2013.....	13
Figura 14: Peso total de lâminas processadas nas diferentes linhas de produção em 2013.....	13
Figura 15: Consumos de Gás Natural em 2012 e 2013	14
Figura 16: Consumo de gás natural ao longo do ano de 2012.....	15
Figura 17: Consumo de gás natural nas diferentes linhas de produção em 2012	15

Figura 18: Consumo de gás natural em 2013.....	16
Figura 19: Consumo de gás natural nas diferentes linhas de produção em 2013	16
Figura 20: Balanço da conservação de energia a uma instalação de combustão genérica (Fonte: Mangueijo, 2010)	23
Figura 21: Forno 511 / Linha 305 (Fonte: Rosa, 2009).....	24
Figura 22: Enrolamento da extremidade da lâmina a quente, para formar o olhal da mola (Fonte: Vendeirinho, 2013).....	25
Figura 23: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)	25
Figura 24: Forno 512 /Linha 408 e conduta onde se processa a captação de ar quente (Fonte: Rosa, 2009)	27
Figura 25: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)	27
Figura 26: Aspecto do forno 513 /Linha 405 (Fonte: Rosa, 2009)	29
Figura 27: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)	29
Figura 28: Aspecto do forno 514 /Linha 409 (Fonte: Vendeirinho, 2013)	31
Figura 29: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)	31
Figura 30: Aspecto geral do forno 534 /Linha 406 (Fonte: Rosa, 2009).....	33
Figura 31: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)	33
Figura 32: Aspecto geral do forno 537 /Linha 602 (Fonte: Vendeirinho, 2013)	35
Figura 33: Chaminé dos gases de exaustão do forno 537 /Linha 602 (Fonte: Rosa, 2009)	35
Figura 34: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)	36
Figura 35: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405.....	39
Figura 36: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com recirculação do ar ..	41
Figura 37: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com introdução de um permutador de calor	41
Figura 38: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com introdução de um permutador de calor e aumento da Eficiência Energética	42

Figura 39: Gráfico representativo do estudo da Eficiência Energética em relação ao consumo de Gás Natural	43
Figura 40: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com temperatura de entrada do Ar igual à utilizada na fábrica	43
Figura 41: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com temperatura de entrada do Ar igual à utilizada na fábrica e aumento da Eficiência Energética	44
Figura 42: Simulação do processo produtivo do forno 534/ linha 406	45
Figura 43: Simulação do processo produtivo do forno 534/ linha 406 com recirculação do ar ..	46
Figura 44: Simulação do processo produtivo do forno 534/ linha 406 com introdução de um permutador de calor	47
Figura 45: Simulação do processo produtivo do forno 534/ linha 406 com introdução de um permutador de calor e aumento da Eficiência Energética	48
Figura 46: Simulação do processo produtivo do forno 512/ linha 408	49
Figura 47: Simulação do processo produtivo do forno 512/ linha 408 com recirculação do ar ..	50
Figura 48: Simulação do processo produtivo do forno 512/ linha 408 com introdução de um permutador de calor	50
Figura 49: Simulação do processo produtivo do forno 512/ linha 408 com introdução de um permutador de calor e aumento da Eficiência Energética	51
Figura 50: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409	53
Figura 51: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com recirculação do ar ..	53
Figura 52: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com introdução de um permutador de calor	54
Figura 53: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com introdução de um permutador de calor e aumento da Eficiência Energética	55
Figura 54: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com temperatura de entrada do Ar de 84 °C, para simular a realidade com a fábrica	55
Figura 55: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com temperatura de entrada do Ar de 84 °C, para simular a realidade com a fábrica, e aumento da Eficiência Energética	56

Figura 56 - Queimador auto-recuperativo (Fonte: Mangueijo, 2010).....	60
---	----

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Áreas da peça que são contabilizadas para as perdas de radiação	20
Tabela 2: Resultados do Balanço Energético ao Forno 511/ Linha 305	26
Tabela 3: Resultados do Balanço Energético ao Forno 512/ Linha 408	28
Tabela 4: Resultados do Balanço Energético ao Forno 513 /Linha 405	30
Tabela 5: Resultados do Balanço Energético ao Forno 514 /Linha 409	32
Tabela 6: Resultados do Balanço Energético ao Forno 514/ Linha 406	34
Tabela 7: Resultados do Balanço Energético ao Forno 537/ Linha 602	36
Tabela 8: Resumo dos resultados para os fornos estudados.....	37
Tabela 9: Composição do Gás Natural utilizado na Frauenthal com base em dados da Galp (%Volumétricas)	40
Tabela 10: Tabela comparativa dos valores de consumo de Gás Natural nos diferentes processos estudados para o forno 513/ linha 405	44
Tabela 11: Tabela comparativa dos valores de consumo de Gás Natural nos diferentes processos estudados para o forno 534/ linha406	48
Tabela 12: Tabela comparativa dos valores de consumo de Gás Natural nos diferentes processos estudados para o forno 512/ linha408	52
Tabela 13: Tabela comparativa dos valores de consumo de Gás Natural nos diferentes processos estudados para o forno do forno 514/ linha 409	56
Tabela 14: Tabela resumo do custo com o Gás Natural, actualmente e com a introdução da melhoria estudada	58

1. Introdução

O aumento da eficiência energética na Indústria Transformadora exige uma atitude pró-activa da parte dos industriais para uma actuação em termos de adequação efectiva dos seus equipamentos e processos a novas tecnologias e estratégias actualmente disponíveis. (Mangueijo, 2010)

As medidas transversais são as que podem ser aplicadas à generalidade das indústrias existentes. As medidas deste tipo são aquelas que proporcionam maiores efeitos em termos do aumento da eficiência energética. (Mangueijo, 2010)

Este projecto foi desenvolvido em parceria com a fábrica Frauenthal Automotive Azambuja com o objectivo de aumentar a eficiência energética do processo de produção de molas da fábrica e, consequentemente, diminuir o consumo de gás natural na fábrica.

Numa fase inicial foi efectuada a identificação da empresa, seguindo-se uma análise ao seu processo produtivo, a qual incluiu uma análise ao consumo de gás natural e produção da fábrica nos últimos 2 anos. Posteriormente, procedeu-se à realização de uma análise detalhada aos consumos e eficiência energética a algumas linhas de fornos, para confirmar as fontes de maior gasto energético para, deste modo, poder serem realizados os estudos de melhoria. Para o efeito, recorreu-se ao *software* de simulação Aspen HYSYS.

1.1. A Empresa

A sua designação social é FRAUENTHAL AUTOMOTIVE AZAMBUJA, UNIPessoal, LDA, e o seu sector de actividade é na Produção de molas de aço para suspensões de automóveis. A fábrica localiza-se na Estrada Nacional nº 3, Vale do Cardal 2050-011 Azambuja e tem como contacto telefónico o número 263409532 e fax 263409548. (Rosa, 2009)

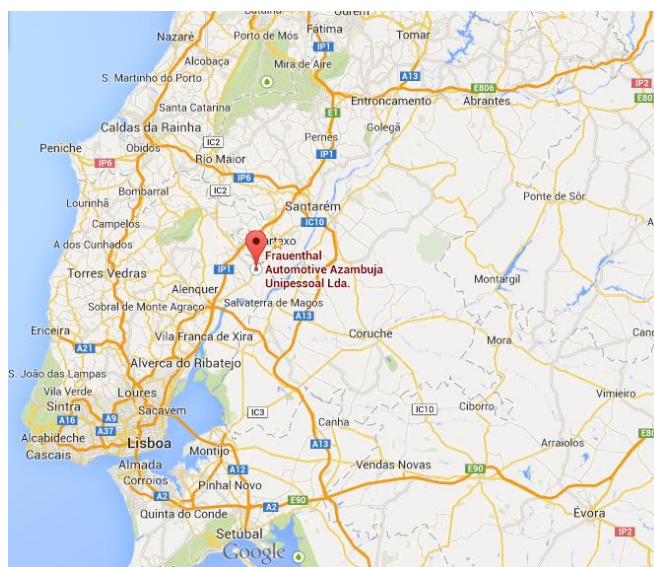


Figura 1: Localização da Frauenthal Automotive Azambuja, Unipessoal Lda (Fonte: <http://maps.google.pt>)



Figura 2: Imagem aérea da Frauenthal Automotive Azambuja, Unipessoal Lda (Fonte: <http://maps.google.pt>)

A FRAUENTHAL AUTOMOTIVE AZAMBUJA, UNIPESSOAL LDA iniciou a sua actividade em 1964, tendo na altura a designação social de IMPORMOL – Indústria Portuguesa de Molas, S.A.R.L. Sofreu ainda as seguintes designações sociais ao longo do tempo:

- **1998** - Krupp Hoesch Impormol;
- **2002** - Thyssenkrupp Impormol;
- **2005** - Styria Impormol, S.A.;
- **2011** - Styria Impormol, Unipessoal, Lda
- **2012** - Frauenthal Automotive Azambuja Unipessoal Lda

Por fim, em 2012 estabeleceu-se como hoje é conhecida, FRAUENTHAL AUTOMOTIVE AZAMBUJA, UNIPESSOAL LDA. (<http://www.racius.com/frauenthal-automotive-azambuja-unipessoal-lda>) (Pereira, 2009) (Sustainability Report 2006)

É a maior fábrica do ramo a nível nacional e internacionalmente está cotada como uma das melhores, tanto a nível de qualidade de produção como de produtividade. Tem uma capacidade produtiva diária superior a 80 ton. Conta com cerca de 208 colaboradores efectivos e 30 colaboradores temporários, laborando de segunda a sexta-feira, 24h por dia, em regime de turnos.

Toda a sua produção é exportada e os seus principais clientes, actualmente, são a Daimler-Chrysler (60%), a MAN (35%) e a Volkswagen (5%). (Vendeirinho, 2013)

1.2. Os Objectivos da Empresa

O principal objectivo deste trabalho e da empresa é a melhoria da eficiência energética do processo de produção de molas permitindo reduzir o consumo de gás natural do processo.

Com base neste objectivo realizaram-se alguns balanços energéticos a algumas linhas existentes na fábrica, detectaram-se os pontos de maior consumo de gás natural da fábrica e consequentemente estabeleceram-se tentativas de minimizar esse consumo.

As operações do processo produtivo requerem um elevado consumo de gás natural, actualmente a Frauenthal tem um custo mensal de **€120000** com gás natural e **€60000** com electricidade. Cerca de **75%** do consumo de gás natural é efectuado nos fornos de laminagem e nos de tratamento térmico.

Em 2012 a fábrica consumiu **2566 kWh/ton**, o que correspondeu a **124,8 €/ton**. Assim, o objectivo deste trabalho é apresentar soluções que minimizem o consumo de gás natural e consequentemente que baixem o custo mensal da fábrica.

2. A Produção

A FRAUENTHAL AUTOMOTIVE AZAMBUJA, UNIPESSOAL, LDA produz molas de aço utilizadas na suspensão de veículos automóveis. O produto final divide-se na venda de lâminas isoladas destinadas ao mercado de reposição e a venda de feixes de lâminas, sendo este último o grosso da produção, considerando que a produção corresponde inteiramente à produção de molas completas. (Rosa, 2009)



Figura 3: Exemplo de molas de lâmina parabólicas (Fonte: Styria, 2012)

2.1. Descrição do Processo Produtivo

O processo de fabrico de molas completas tem como principais matérias-primas barras de aço especiais para molas, com as seguintes características:

- Elevado limite elástico;
- Elevada resistência à fadiga.

O processo produtivo tem início na **Secção de Corte e Furação** com o corte das barras de aço, provenientes do Armazém de Matérias-Primas, nas dimensões especificadas para cada peça.

Estas operações são realizadas em dois locais distintos da produção, assim inicia-se o corte das barras e algumas são posteriormente transportadas para o forno de aquecimento da zona central, de modo a realizar o furo de centro através de um punção. (linhas 325 e 105)

As operações de transformação das peças são realizadas em linhas de fabrico constituídas por um forno que aquece a secção terminal das lâminas de modo a permitir a conformação a quente no laminador, e posterior acerto dimensional na prensa. Parte das lâminas é encaminhada para o centro de enrolamento de olhais, localizado a montante dos fornos de tratamento térmico. Os laminadores (linhas 406/407/408/405/409) atingem temperaturas na ordem dos 900°C.

Posteriormente a peça segue para o enrolamento de olhais, (linhas 304/305/306/303), isto é estes fornos destinam-se ao aquecimento de pontas das lâminas para que estas sejam posteriormente enroladas. A temperatura média destes fornos é de 450°C.

Estes dois últimos processos ocorrem duas vezes, uma para cada um dos lados da peça.

Segue-se a **zona de tratamento térmico** constituída por uma têmpera (arrefecimento em óleo), seguida de um revenido, adquirindo assim a resistência pretendida. À saída do revenido as molas são colocadas em estrados e transportadas para a secção de tratamento superficial. A temperatura atingida nos fornos de têmpera é de 900°C e os fornos de revenido atingem temperaturas de aproximadamente 500°C.

Nesta zona as molas recebem o tratamento superficial por granalhagem e pintura. Na zona de montagem colocam-se os casquilhos nos olhais e realiza-se o seu acerto. Após a pintura as lâminas são montadas em feixes de molas, constituindo, desta forma, o produto final de fabricação. De seguida passam pela balança de prova, garantindo um controlo rigoroso de qualidade. Quando se considera importante ou quando é solicitado pelo cliente é seleccionada uma mola completa e esta é avaliada quanto à sua resistência até à quebra.

Após esta última fase de produção as molas são encaminhadas para a zona de embalagem onde são identificadas e paletizadas em lotes, aguardando um carregamento posterior para expedição.

As peças entram à temperatura ambiente, são aquecidas até 900-1200°C para laminar, saem após prensa (última estação) a 500°C. Este ciclo dura em média 25s. (Rosa, 2009)

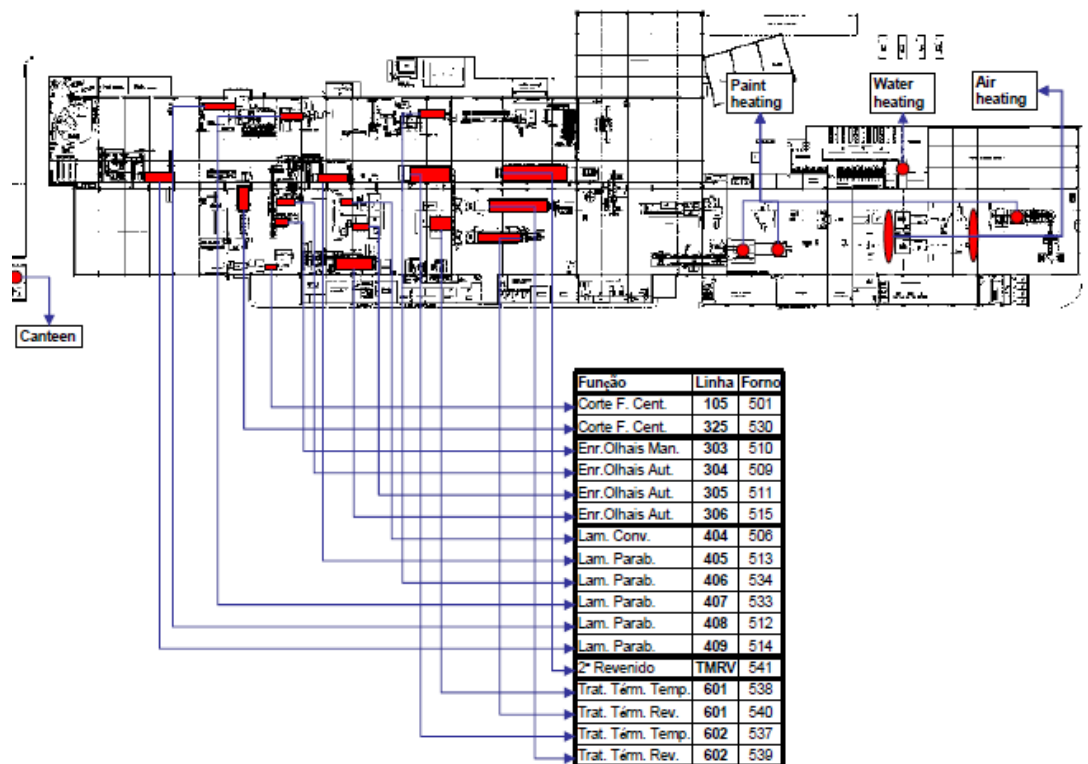


Figura 4: Layout do processo com descrição dos fornos/linhas (Fonte: Energy Workshop, 2010)

Através das seguintes figuras está representado um resumo do fluxograma da produção.

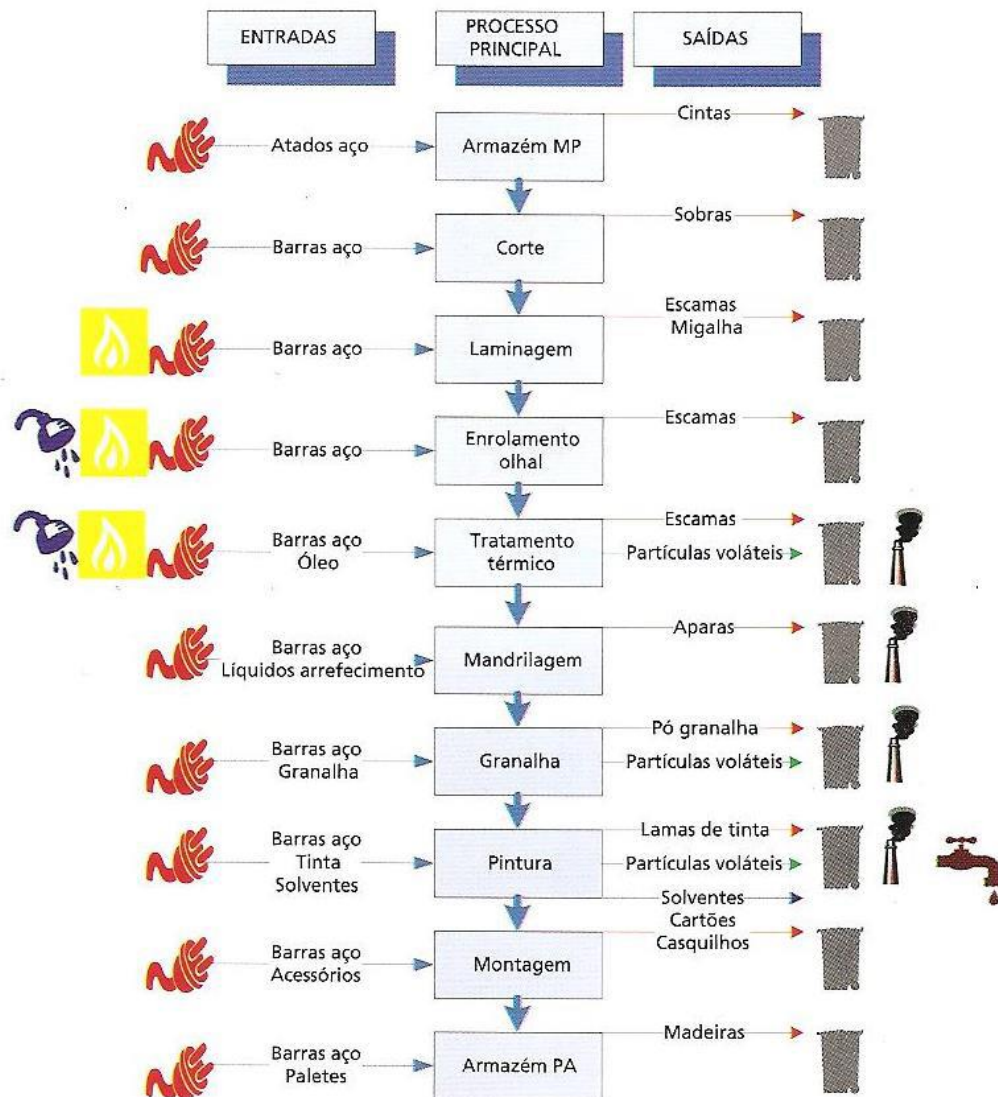


Figura 5: Fluxograma de todo o processo produtivo, incluindo entradas e saídas de massa e energia (Fonte: Pereira, 2009)

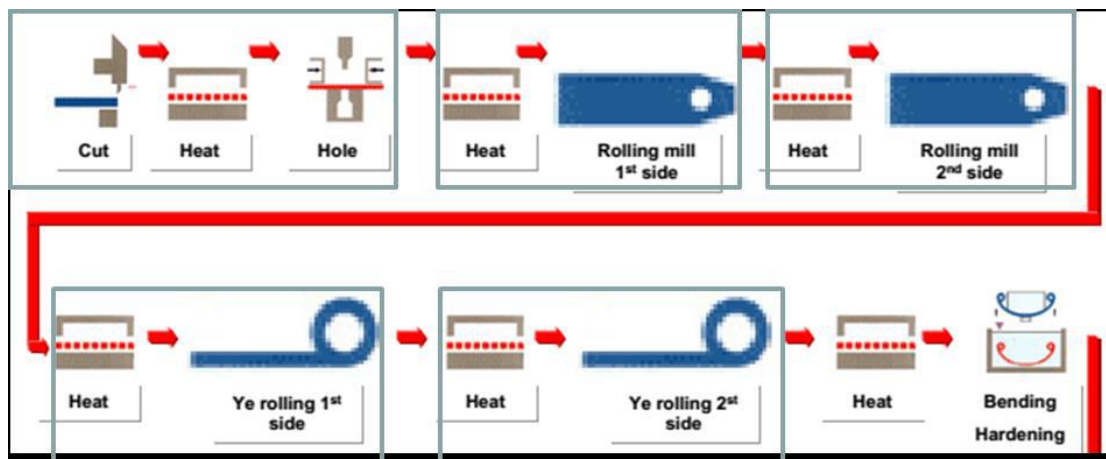


Figura 6: Fluxograma do processo produtivo na zona de laminagem e enrolamento de olhas (Fonte: Energy Workshop, 2010)

2.1.1. Arrefecimento Forçado das Lâminas

Cada processo de laminagem é efectuado em separado, por isso cada extremidade da lâmina é laminada de cada vez, assim cada lâmina é sujeita a um processo de corte e furação do centro, dois processos independentes de laminagem e dois processos independentes de enrolamento de olhais. No total, cada lâmina é sujeita a 5 processos de forjamento independentes. Entre cada um desses processos a lâmina é sujeita a um arrefecimento até à temperatura ambiente. Este arrefecimento pode variar entre 1 a 7 horas, e pode ser natural ou forçado com ventiladores. O arrefecimento é efectuado em estrados de 150 a 200 lâminas, como pode ser verificado na figura seguinte. (Vendeirinho, 2013)



Figura 7: Estrados com lâminas quentes em processo de arrefecimento no exterior da fábrica (Fonte: Vendeirinho, 2013)

As lâminas são arrefecidas por 2 motivos. O primeiro está relacionado com o facto de cada linha necessitar de um transportador magnético para alimentar a mesma, este transportador não deve ser sujeito a temperaturas superiores a 200°C, para não danificar o mesmo. É também aconselhável uma temperatura mais baixa possível uma vez que o aço perde as suas propriedades magnéticas com a temperatura. O segundo motivo está relacionado com o defeito que o carro de tracção do laminador pode provocar na superfície das lâminas. Mesmo estando a temperatura relativamente baixas, entre os 50 e 200°C, notam-se marcas provocadas pelas maxilas, sendo importante que arrefeçam o máximo possível para evitar esses defeitos na superfície das lâminas. (Vendeirinho, 2013)

2.2. Equipamentos Utilizados no Processo Produtivo

Na fábrica Frauenthal Automotive Azambuja são utilizadas várias linhas de fornos e com funções distintas entre si. Existem 3 tipos de fornos, os fornos de fenda, os fornos de têmpera e os fornos de revenido. De seguida serão explicados detalhadamente cada tipo desses fornos.

2.2.1. Fornos de Fenda

Os fornos que se destinam ao aquecimento localizado (pontas) das peças metálicas são os **fornos de fenda**, sendo o transporte no interior do forno efectuado através de um tapete metálico ou galope. Neste tipo de forno os queimadores estão normalmente situados na extremidade (correspondente à saída das lâminas) que asseguram uma temperatura elevada nesta zona, podendo também localizar-se longitudinalmente. Em ambos os casos, os produtos de combustão contactam directamente com as lâminas sendo a exaustão feita para o exterior do forno através da abertura longitudinal, por onde circulam as lâminas. Os fornos possuem uma saia metálica que termina em conduta, destinada à evacuação dos gases quentes para o topo da nave através de convecção natural.

Nas linhas de laminagem a temperatura média atingida pelos fornos é de 900°C e nas linhas de enrolamento de olhais a temperatura média destes fornos é de 450°C. Estas duas linhas estão incluídas nos fornos de fenda. (Rosa, 2009) (Vendeirinho, 2013)



Figura 8: Forno de Fenda utilizado nas linhas de laminagem (Fonte: Vendeirinho, 2013)

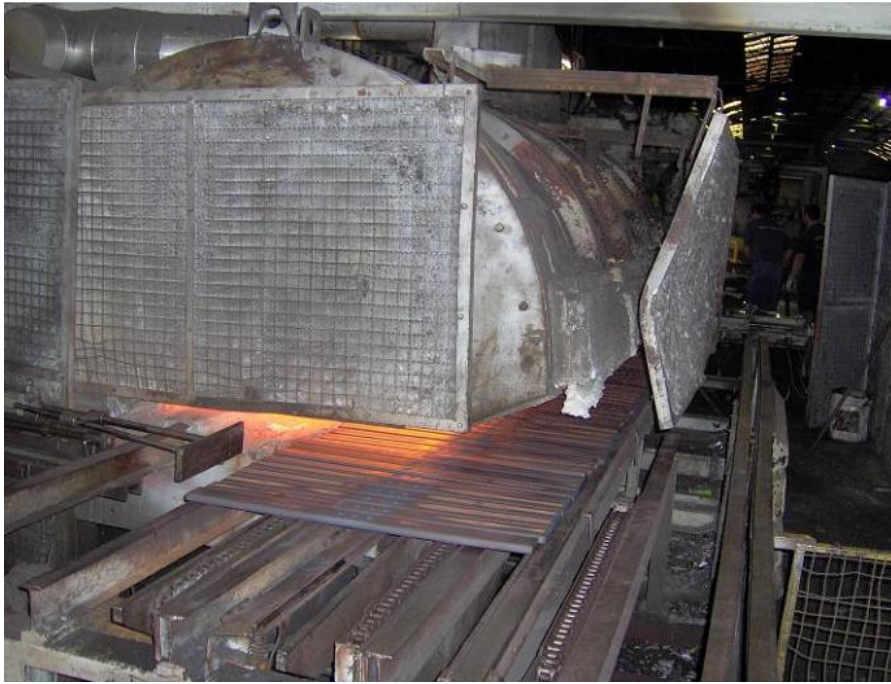


Figura 9: Forno de Fenda utilizado nas linhas de enrolamento de olhais (**Fonte:** Vendeirinho, 2013)

2.2.2. Fornos de Têmpera

Os **fornos de têmpera** processam todas as molas fabricadas. Os queimadores encontram-se distribuídos nas partes laterais do forno. A entrada das lâminas é feita de forma contínua através de uma abertura que está protegida por “franjas” metálicas que impedem maiores perdas de calor por radiação. A saída das peças é feita através de uma outra abertura na extremidade oposta do forno. Os produtos de combustão contactam directamente com as lâminas e a sua exaustão efectua-se pelas aberturas, isto é, pela entrada e saída das lâminas.

Existem dois fornos de têmpera na fábrica e estes são os maiores consumidores de gás natural. (Rosa, 2009) (Vendeirinho, 2013)

2.2.3. Fornos de Revenido

Os **fornos de revenido** recebem as lâminas temperadas provenientes dos fornos de têmpera. Este tipo de fornos também tem os queimadores distribuídos ao longo das paredes laterais. É nesta parte da produção que existe uma maior exigência em termos de qualidade (linhas 601/602). A linha 602 destina-se aos produtos mais leves, enquanto a linha 601 destina-se aos produtos mais pesados. (Rosa, 2009) (Vendeirinho, 2013)

2.3. Melhoria Implementada nos Fornos

As perdas por radiação nas fendas dos fornos são significativas, pelo que uma solução na redução destas perdas seria o fecho total dos fornos, contudo essa solução não é viável tecnicamente uma vez que apenas é trabalhada parte da lâmina, e a outra parte encontra-se a circular fora do forno. Em Junho de 2012 a Frauenthal reduziu essas fendas em cerca de 20%, o que reflectiu também numa diminuição das perdas por radiação nas fendas.

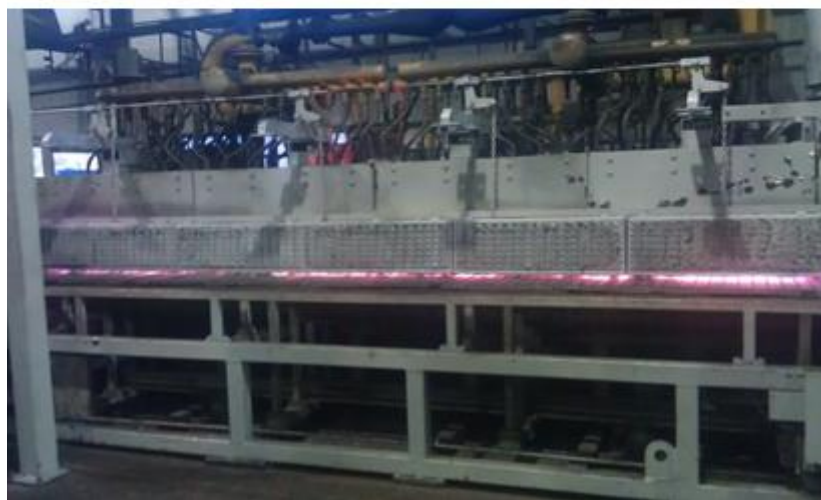


Figura 10: Antes e após o fecho dos fornos em 20%, em Junho de 2012, no forno 534/ linha 406 (Fonte: Pereira, 2012)

2.4. Produção

Na produção de molas de aço utilizadas na suspensão de veículos automóveis, verificou-se que durante o ano de 2012 a Frauenthal processou um total de **99181,56 ton** de lâminas, essa produção total foi dividida entre os 12 meses do ano e ao longo dos vários processos de produção das mesmas.

Assim, o processamento de lâminas anual foi dividido da seguinte forma:

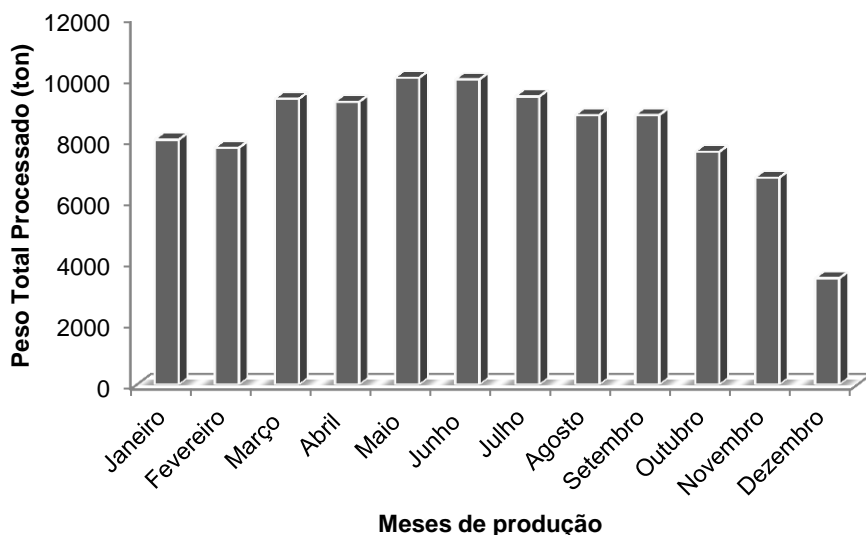


Figura 11: Peso total de lâminas processadas ao longo do ano de 2012

Verifica-se que o mês com maior peso total de lâminas processadas foi o mês de Maio e o mês de menor peso total de lâminas processadas foi Dezembro, com **10026,71 ton** e **3476,23 ton**, respectivamente.

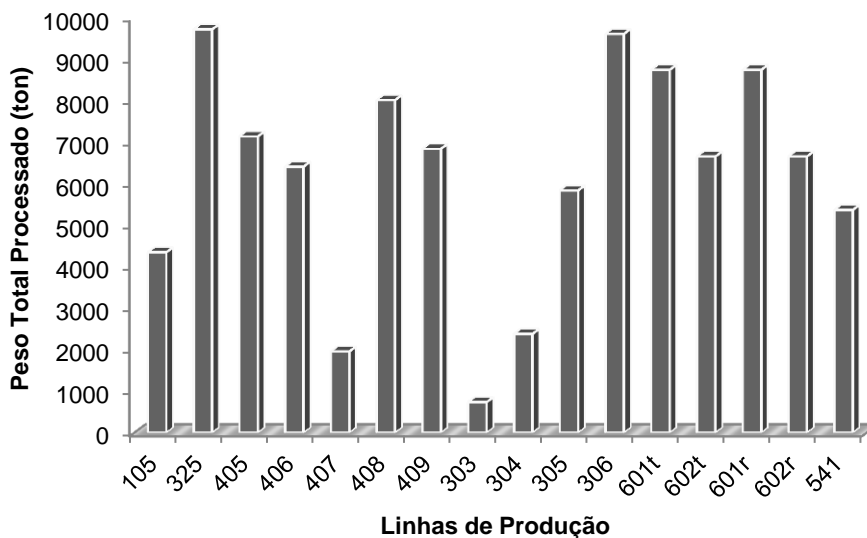


Figura 12: Peso total de lâminas processadas ao longo do ano de 2012 nas diferentes linhas de produção

Através da figura anterior, verifica-se que a linha que processou maior peso de lâminas foi a linha 325, que pertence à linha de corte e furação central, com **9718,74 ton** de material processado ao longo do ano de 2012, seguido pela linha 306, linha do enrolamento dos olhais automático, que processou **9612,54 ton**.

Em 2013, apenas existem valores até Julho, sendo que o seu peso total de lâminas processadas até esse mês foi de **56204,26 ton**. Em período igual do ano anterior foram processadas **63728,44 ton**, pelo que se verifica uma diminuição de produção num período igual de aproximadamente 12%.

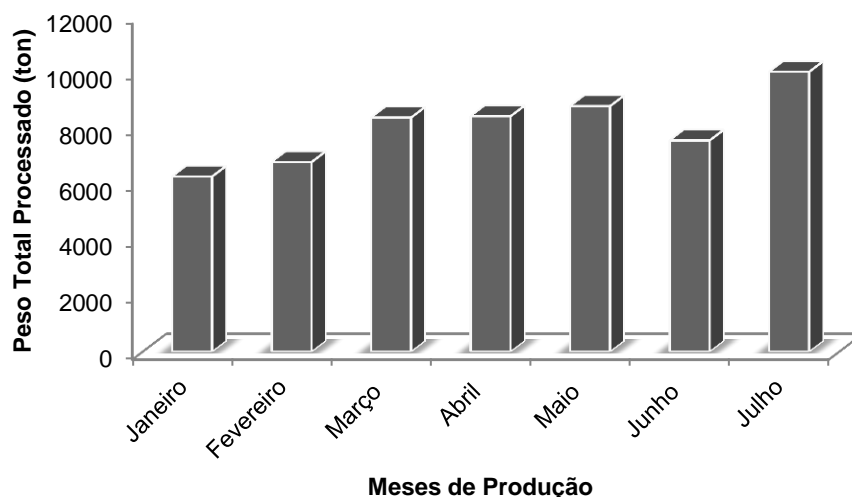


Figura 13: Peso total de lâminas processadas nos 7 primeiros meses de 2013

Verifica-se que o mês com maior peso total de lâminas processadas foi o mês de Julho e o mês o mês de menor peso total de lâminas processadas foi Janeiro, com **10009,91 ton** e **6268,24 ton**, respectivamente.

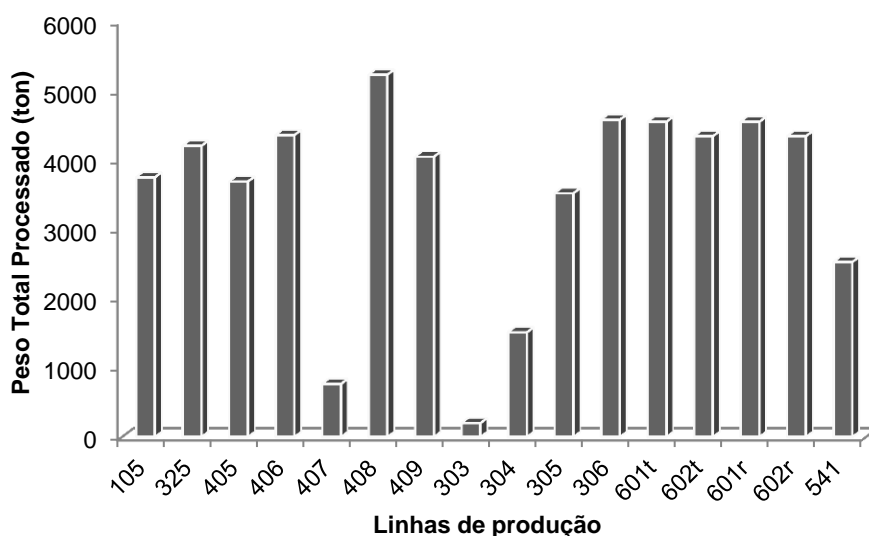


Figura 14: Peso total de lâminas processadas nas diferentes linhas de produção em 2013

Através da figura anterior, verifica-se que a linha que processou maior peso de lâminas foi a linha 408, que pertence à linha dos laminadores automáticos, com **5236,92 ton** de material produzido nos meses de 2013 estudados.

Tanto em 2012 como em 2013 a linha que menos peso de material processou foi a 303, linha do enrolamento dos olhais manual.

2.5. Consumo

A Frauenthal consome, no seu processo produtivo, electricidade e gás natural. De acordo com a Auditoria Energética realizada pela Iberdrola em 2008 constata-se que no consumo de energia há uma clara predominância no consumo de gás natural face à electricidade, onde se verifica que o consumo de gás natural é cerca de 71% dos consumos da empresa. A principal funcionalidade do gás natural é a queima do mesmo nos fornos do processo. O maior consumo é na área de forjagem, aquecimento do metal. O restante consumo é na área de tratamento térmico, onde o metal adquire as características desejadas. (Rosa, 2009)

Foi efectuada a análise aos consumos de gás natural em 2012 e 2013 e como pode ser verificado nos gráficos abaixo o grande consumo recai nos fornos de laminagem e nos de tratamento térmico, em média representam cerca de 75% do consumo total dos fornos da Frauenthal.

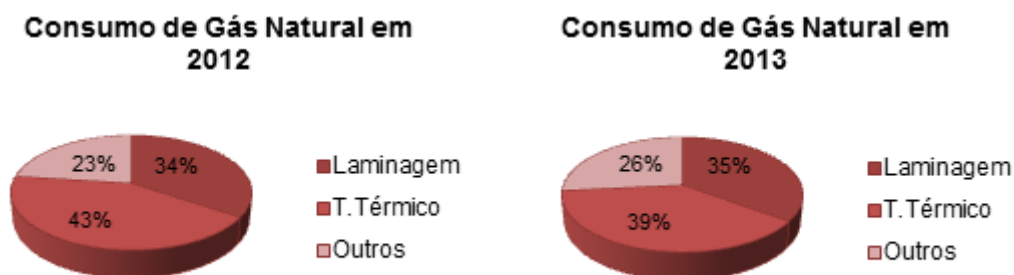


Figura 15: Consumos de Gás Natural em 2012 e 2013

Esta análise está em conformidade com a Auditoria Energética efectuada pela Iberdrola referente ao ano de 2008. O que significa que o estudo de melhoria da eficiência energética da Frauenthal deverá incidir nestes dois tipos de fornos.

Durante o ano de 2012 a Frauenthal consumiu **1933998,10 m³** de gás natural, esse consumo total foi dividido entre os 12 meses do ano e ao longo dos vários processos de produção das mesmas.

Assim, o consumo anual foi dividido da seguinte forma:

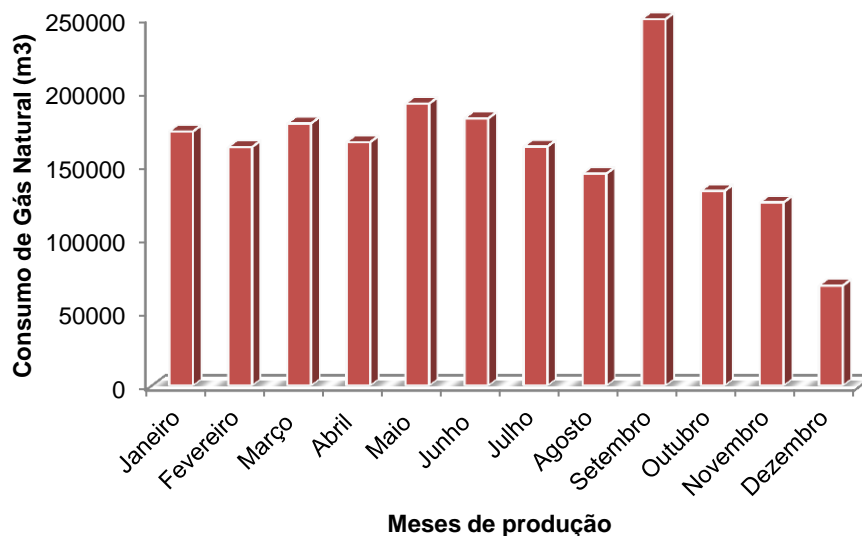


Figura 16: Consumo de gás natural ao longo do ano de 2012

Verifica-se que o mês com maior consumo foi o mês de Setembro e o mês de menor consumo foi Dezembro, com um consumo de **249208,20 m³** e **68076,50 m³**, respectivamente.

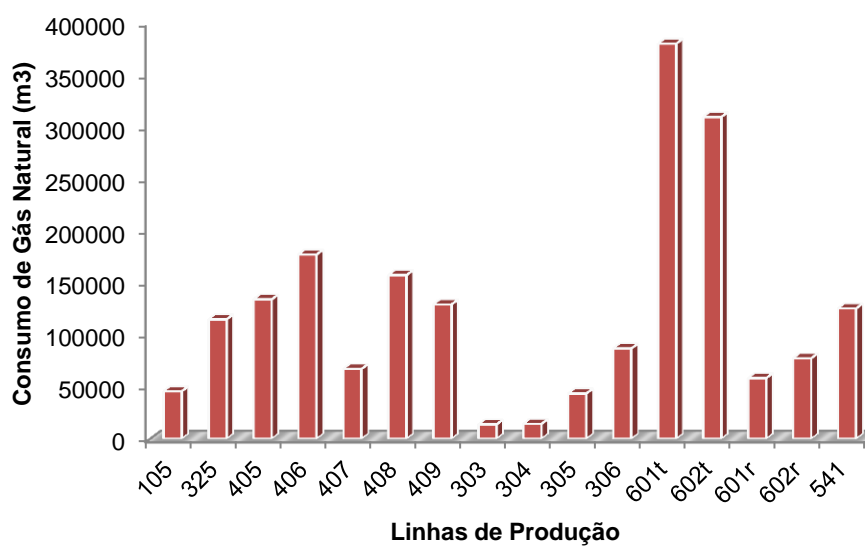


Figura 17: Consumo de gás natural nas diferentes linhas de produção em 2012

Através da figura anterior, verifica-se que a linha com maior consumo são as linhas 601 e 602 que correspondem às linhas dos fornos de têmpera.

Em 2013, apenas existem valores até Julho, sendo que o seu consumo total de gás natural até esse mês foi de **1044593,10 m³**. Em período igual do ano anterior foram consumidos **1215350,00 m³** de gás natural, pelo que se verifica uma diminuição do consumo de gás natural num período igual de aproximadamente 12%. Esta diminuição do consumo está consistente com a diminuição na produção, que foi também de 12% para o mesmo período.

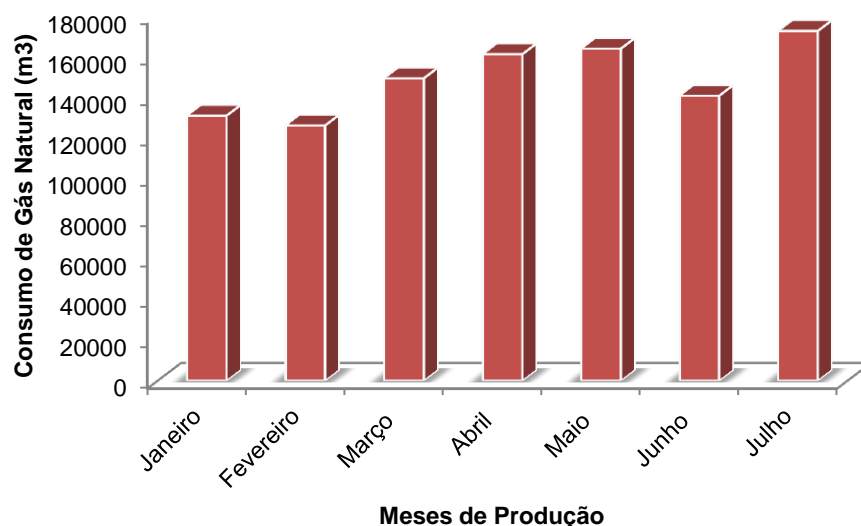


Figura 18: Consumo de gás natural em 2013

Verifica-se que o mês com maior consumo foi o mês de Julho e o mês com menor consumo foi Fevereiro, com um consumo de **172625,20 m³** e **126036,00 m³**, respectivamente.

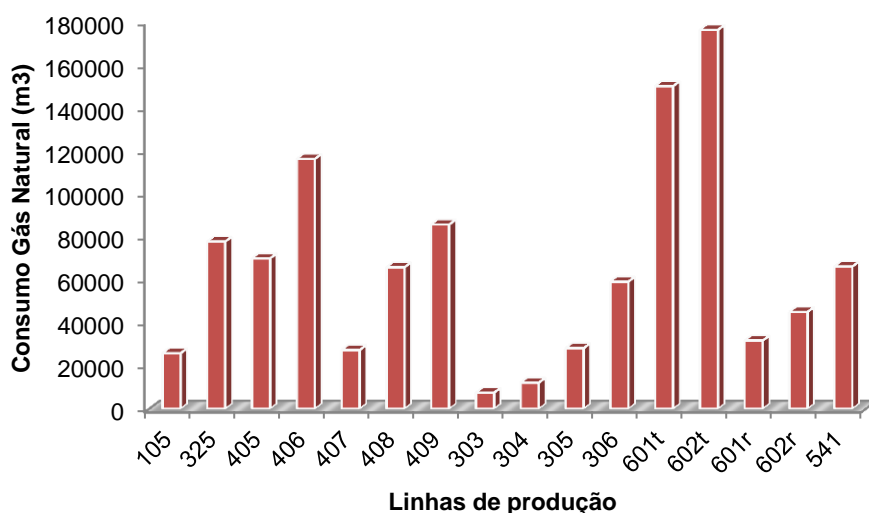


Figura 19: Consumo de gás natural nas diferentes linhas de produção em 2013

Através da figura anterior, verifica-se que a linha com maior consumo continua a ser a linha dos fornos de têmpera, linhas 601/602, à semelhança do que acontecia em 2012. Verifica-se também que as linhas dos laminadores, nomeadamente a linha 406 também têm um elevado consumo de gás natural.

3. Metodologia

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada nos diversos cálculos utilizados para os balanços energéticos efectuados às diferentes linhas. Foram efectuados esses balanços relativamente às linhas **305** (Enrolamento Olhais Automáticos), **405**, **406**, **408** e **409** (Laminadores) e à linha **602** (Têmpera). Os cálculos dos mesmos foram realizados com base nos resultados apresentados no relatório da Auditoria Energética efectuada pela Iberdrola em 2009. (Rosa, 2009)

Assim, o balanço energético à fronteira global é dado por:

$$Q_{GN} = \Delta Q_{lâminas} + \Delta Q_{gases\ exaustão} + \Delta Q_{gases\ fuga} + Q_{c+r} + Q_{rad} + Q_{fecho} \quad (\text{Eq. 1})$$

Para ser calculado este balanço é necessário proceder aos cálculos para os diferentes tipos de calor em causa. Será de salientar que a incógnita neste balanço será o Q_{fecho} .

O Q_{GN} representa a potência fornecida pelo gás natural e é calculada através da seguinte equação:

$$Q_{GN} = Q_m \times PCI \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde Q_m representa o caudal mássico de gás natural, e o PCI o Poder Calorífico Inferior do gás natural, que é de 45100 kJ/kg.

Como no relatório fornecido apenas eram facultados os dados de, caudal mássico, Q_m foi ainda utilizada a seguinte equação:

$$Q_m = Q_v \times \rho \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Em que ρ representa a densidade do gás natural, 0,84 kg/m³.

Desta forma foi possível obter-se os valores para a potência fornecida pelo gás natural em kW.

O $\Delta Q_{lâminas}$ representa a potência absorvida pelas lâminas de aço, resultado da sua passagem pelo forno e aferido pela diferença de temperaturas à entrada e saída, e é calculada da seguinte forma:

$$\Delta Q_{lâminas} = Q_m \times Cp \times \Delta T \quad (\text{Eq. 3})$$

O caudal mássico, Q_m , das lâminas foi calculado através da quantidade produzida (kg) e das horas de produção (h). O Cp corresponde ao Cp do aço que é de 0,503 kJ/kg K e o ΔT corresponde à diferença de temperatura verificada nas lâminas à entrada e saída dos

respectivos fornos. A temperatura de saída das lâminas foi considerada como sendo a temperatura operativa do forno. Uma vez que nem toda a lâmina era aquecida na totalidade, uma vez que apenas se encontrava parcialmente no interior do forno, o cálculo da potência absorvida pelas mesmas foi encontrado através de ponderação em função do grau de inserção no interior do forno. Assim, para os fornos de laminagem o valor final foi multiplicado por $\frac{1}{2}$, para os de enrolamento de olhais foi por $\frac{1}{4}$ e para os fornos de tempera manteve-se o mesmo, uma vez que toda a peça é aquecida uniformemente.

Foi necessário ainda ter em conta as perdas por radiação e condução que a lâmina sofre ao longo do processo. Através das diferentes dimensões das diferentes partes da lâmina, 25 mm/ 70 mm / 1250mm, foi possível apurar três áreas distintas, A_1 , A_2 e A_3 , áreas que tiveram de ser tidas em consideração para o cálculo das perdas por radiação. Essas perdas são calculadas da seguinte forma:

$$Q_{\text{radiação}} = \varepsilon \times \sigma \times (T^4 - T_{\text{amb}}^4) \times A \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Em que ε representa a Emissividade e tem o valor de 0,9, σ representa a Constante de Stefan-Boltzman e tem o valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ e T o valor da temperatura de saída das lâminas.

Como é necessário considerar as áreas distintas da peça, o valor total das perdas de radiação são calculadas da seguinte forma:

$$Q_{\text{Tradição}} = (Q_{A1} \times x) + (Q_{A2} \times y) + (Q_{A3} \times z) \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Em que, x, y e z correspondem às áreas distintas da peça para totalizar as perdas de radiação.

Assim,

Tabela 1 - Áreas da peça que são contabilizadas para as perdas de radiação

	Laminadores	Enrolamento	Tempera
x	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$	$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$	$1 + 1 = 2$
y	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$	$\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4}$	$1 + 1 = 2$
z	1	1	$1 + 1 = 2$

Para considerar as perdas por condução foi considerada a seguinte equação:

$$Q_{\text{condução}} = K_{aço} \times A \times \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Para a condutividade térmica do aço considerou-se $K_{aço} (chapa de aço) = 39 \frac{kcal}{m.h.^{\circ}C} = 45,33 \frac{W}{m.K}$, e para os valores da área, foi considerado a A_3 , superfície lateral da lâmina.

A barra de aço divide-se em 2 zonas, em que parte sofre perdas por radiação e a restante por condução, assim

$$\Delta x = (w \times l_1) \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Em que w representa a zona da peça que não é aquecida e consequentemente tem perdas por condução. Assim, para os laminadores é de $1/2$ e para os fornos de enrolamento é de $3/4$. Para a têmpera não são contabilizadas as perdas por condução uma vez que a peça é aquecida da totalidade.

Assim, a potência total absorvida pelas lâminas de aço é calculada por:

$$\Delta Q_{lâminas} = [Zona\ aquecida \times (Q_m \times Cp \times \Delta T)] + Q_{Tradiação} + Q_{condução} \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Na equação geral há ainda Q_{rad} , que representa a potência perdida por radiação nas fendas dos respectivos fornos. Esta é calculada da seguinte forma:

$$Q_{radiação} = \varepsilon \times \sigma \times (T^4 - T_{amb}^4) \times A_{fendas} \quad (\text{Eq. 4})$$

Mais uma vez, ε representa a Emissividade e tem o valor de 0,9, σ representa a Constante de Stefan-Boltzman e tem o valor de $5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ e T considera-se como sendo a temperatura no interior do forno.

Para a área das fendas foram considerados 2 períodos, o período até Maio de 2012 com os valores indicados na auditoria energética (Rosa, 2009) e o restante a partir de Junho de 2012 em que se verificou uma redução na área das fendas em 20%, informação fornecida pela Frauenthal, devido às alterações efectuadas nos fornos de modo a reduzir as perdas por radiação.

Q_{c+r} representa a potência perdida através das superfícies do forno, assim, foi calculada da seguinte forma:

$$Q_{perdas\ superficie} = A_{superficie\ forno} \times U \times (T_{superficie} - T_{ambiente}) \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que o coeficiente de transferência de calor global, U , é dado por:

$$U = \left[\frac{(T_{superficie} - T_{ambiente})^{0.25} \times 2.38}{1000} \right] + 0,005 \quad (\text{Eq. 5.1})$$

O $\Delta Q_{gases\ exaustão}$ e $\Delta Q_{gases\ fuga}$ representam a potência perdida através dos gases enviados para a chaminé e também nas fugas.

Para o cálculo do mesmo foram utilizados os valores da auditoria energética, e os respectivos valores podem ser verificados no Anexo C. (Rosa, 2009)

Através destes balanços é ainda possível contabilizar a Eficiência Energética. A eficiência energética (η) de um sistema de combustão é dada por: (Mangueijo, 2010)

$$\eta = \frac{\text{Calor transferido para o processo}}{\text{Calor do combustível}}$$

ou seja,

$$\eta = 1 - \frac{\text{Calor dos gases de combustão} + \text{Calor através das paredes}}{\text{Calor do combustível}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

- Calor dos gases de combustão é dado pelo valor de $\Delta Q_{gases\ combustão}$;
- Calor através das paredes é dado por $Q_{c+r} + Q_{rad}$;
- Calor do combustível é dado pelo valor de Q_{GN} .

Para o cálculo do $\Delta Q_{gases\ combustão}$ é utilizada a equação abaixo indicada.

$$\Delta Q_{gases\ combustão} = [\Delta Q_{gases\ exaustão} + \Delta Q_{gases\ fuga}] - [\Delta Q_{ar\ de\ queima} + \Delta Q_{ar\ infiltrado}]$$

(Eq. 7.1)

4. Eficiência Energética

Num sistema de combustão com uma eficiência energética teórica de 100%, toda a energia libertada na queima do combustível é transferida para o processo que se pretende alimentar. No entanto, tais sistemas ideais não existem e na realidade, parte dessa energia é perdida para o meio envolvente através das paredes e dos gases de combustão. (Mangueijo, 2010)



Figura 20: Balanço da conservação de energia a uma instalação de combustão genérica (**Fonte:** Mangueijo, 2010)

Como foi visto no capítulo anterior a eficiência energética (η) de um sistema de combustão é dada por: (Mangueijo, 2010)

$$\eta = \frac{\text{Calor transferido para o processo}}{\text{Calor do combustível}}$$

ou seja,

$$\eta = 1 - \frac{\text{Calor dos gases de combustão} + \text{Calor através das paredes}}{\text{Calor do combustível}}$$

A definição expressa pela equação anterior indica que as estratégias para aumentar a eficiência energética devem ser orientadas para a diminuição das perdas térmicas através das paredes e dos gases de combustão.

Existem três maneiras de diminuir as perdas térmicas de um sistema de combustão: a primeira é a redução da temperatura de saída dos gases de combustão, a segunda é a diminuição do caudal mássico, e a terceira, é a substituição de isolamentos térmicos danificados e a aplicação de isolamentos mais eficazes. (Mangueijo, 2010)

Do conjunto total dos fornos que participam no processo produtivo da Frauenthal, foi efectuada uma análise detalhada aos balanços energéticos e sua eficiência energética aos seguintes fornos: 511, 512, 513, 514, 534 e 537.

4.1. Análise Energética ao Forno 511 / Linha 305

O forno de olhais 511 é do tipo fenda e tem como principal função o aquecimento das pontas das peças metálicas. Os queimadores são de pré-mistura com o ar de queima a ser introduzido por um ventilador. Pelas aberturas na entrada e saída do forno ocorrem infiltrações de ar exterior e fuga de gases de combustão. As perdas do forno por radiação são devidas quer a perdas pelas paredes do forno quer a perda pelas fendas. Existe ainda transferência de calor por convecção entre o forno e o ambiente que o rodeia. (Rosa, 2009)



Figura 21: Forno 511 / Linha 305 (Fonte: Rosa, 2009)



Figura 22: Enrolamento da extremidade da lâmina a quente, para formar o olhal da mola (**Fonte:** Vendeirinho, 2013)

O forno foi analisado com base numa fronteira que apresenta os fluxos de entrada e saída representados na figura seguinte.

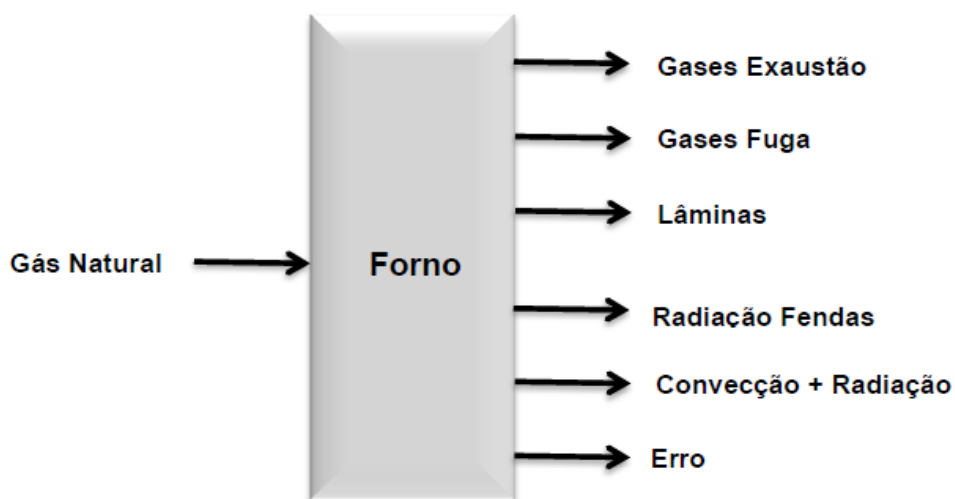


Figura 23: Esquema do balanço energético (**Fonte:** Rosa, 2009)

Para o desenvolvimento destes balanços foram utilizados as equações descritas no capítulo anterior, sendo que a principal, o balanço energético à fronteira global é dado por:

$$Q_{GN} = \Delta Q_{lâminas} + \Delta Q_{gases\ exaustão} + \Delta Q_{gases\ fuga} + Q_{c+r} + Q_{rad} + Q_{fecho}$$

Esta equação encontra-se detalhada e descrita anteriormente e as tabelas completas podem ser verificadas no Anexo C.

Assim, a tabela seguinte quantifica os vários fluxos presentes em termos energéticos.

Tabela 2: Resultados do Balanço Energético ao Forno 511/ Linha 305

Designação	Potência (kW)	Distribuição (%)
ENTRADAS	155	100
Gás Natural	155	100
SAÍDAS PRODUTIVAS	29	19
Lâminas	29	19
OUTRAS SAÍDAS	125	81
Gases de exaustão	85	55
Gases de fuga	25	16
Convecção + Radiação	21	14
Erro de Fecho	-6	-4

Verifica-se que este forno apresenta um rendimento de cerca de 19% e um erro de valor relativo de -4%, valor aceitável para um balanço desta natureza. O erro de fecho negativo indica que alguns dos termos de saída possam estar sobredimensionados, ou as entradas subdimensionadas, o que não invalida que se trate de um valor aceitável para um balanço desta natureza. Verifica-se ainda grandes perdas através dos gases de exaustão, que representam 55% do valor das saídas do processo.

Foram ainda efectuados cálculos, seguindo a metodologia da equação 7 descrita no capítulo anterior, em relação à eficiência energética dos fornos. Para este forno em questão foi determinado que a eficiência energética do mesmo é de apenas 15%.

4.2. Análise Energética ao Forno 512 / Linha 408

O forno 512 inserido na linha de laminagem parabólica 408 é do tipo fenda e tem como principal função o aquecimento das pontas metálicas. O transporte no seu interior é efectuado através de galope, sendo os queimadores de chama directa a gás natural com ar de queima introduzido por um ventilador.

Parte do ar existente que sai do interior do forno é recolhido por uma estrutura metálica localizada junto à entrada das peças. Este caudal servirá, depois de uma diluição com ar ambiente, para alimentar os queimadores a gás natural, tirando proveito da sua temperatura superior. (Rosa, 2009)

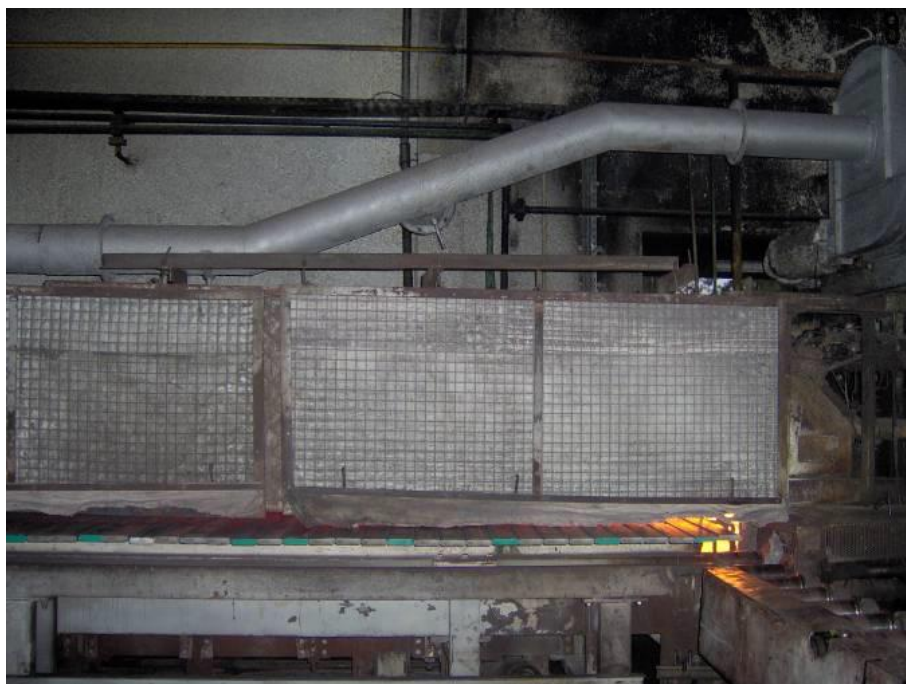


Figura 24: Forno 512 /Linha 408 e conduta onde se processa a captação de ar quente (Fonte: Rosa, 2009)

Pelas aberturas na entrada e saída do forno ocorrem infiltrações de ar exterior e fuga de gases de combustão. As perdas do forno por radiação são devidas, quer a perdas pelas paredes do forno, quer a perdas pelas fendas. As perdas por convecção devem-se ao diferencial de temperatura existente entre as paredes do forno e o ambiente que o rodeia. (Rosa, 2009)

Tal como para o forno anterior, procedeu-se a uma análise com base numa fronteira que apresenta dos fluxos de entrada e saída representados na figura seguinte.

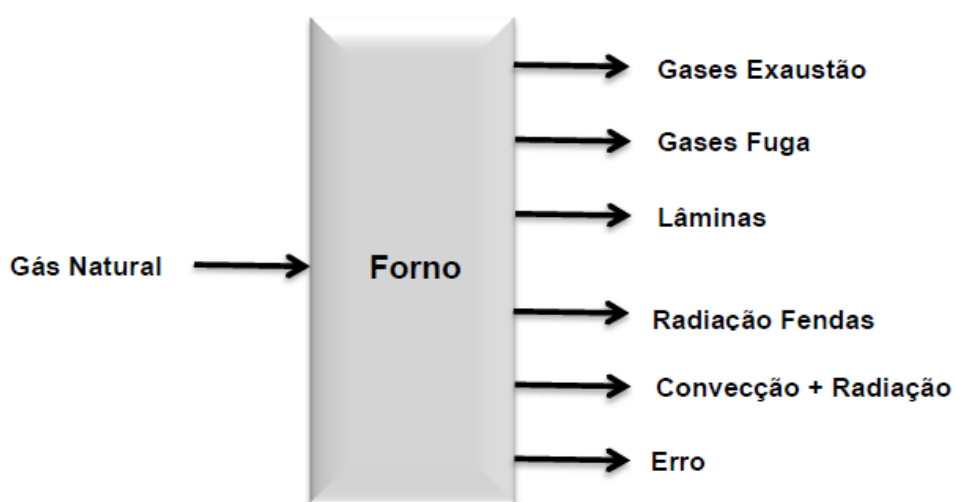


Figura 25: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)

As equações de balanço que regem o funcionamento deste forno são em tudo idênticas às do forno anterior.

Para o desenvolvimento destes balanços foram utilizados as equações descritas no capítulo anterior, sendo que a principal, o balanço energético à fronteira global é dado por:

$$Q_{GN} = \Delta Q_{lâminas} + \Delta Q_{gases\ exaustão} + \Delta Q_{gases\ fuga} + Q_{c+r} + Q_{rad} + Q_{fecho}$$

Esta equação encontra-se detalhada e descrita anteriormente e as tabelas completas podem ser verificadas no Anexo C.

Assim, a tabela seguinte quantifica os vários fluxos presentes em termos energéticos.

Tabela 3: Resultados do Balanço Energético ao Forno 512/ Linha 408

Designação	Potência (kW)	Distribuição (%)
ENTRADAS	521	100
Gás Natural	521	100
SAÍDAS PRODUTIVAS	215	41
Lâminas	215	41
OUTRAS SAÍDAS	306	59
Gases de exaustão	0	0
Gases de fuga	282	54
Convecção + Radiação	15	3
Erro de Fecho	8	2

Verifica-se que este forno apresenta um rendimento de cerca de 41% e um erro de valor relativo de 2%, valor aceitável para um balanço desta natureza. Verifica-se ainda grandes perdas através dos gases de fuga, que representam 54% do valor das saídas do processo.

Foram ainda efectuados cálculos, seguindo a metodologia da equação 7 descrita no capítulo anterior, em relação à eficiência energética dos fornos. Para este forno em questão foi determinado que a eficiência energética do mesmo é de 50%.

4.3. Análise Energética ao Forno 513 / Linha 405

O forno 513 é um forno de fenda que está inserido numa linha de laminagem parabólica e que prepara as lâminas para uma posterior laminagem. No final está colocada uma chaminé que possui um permutador incorporado que lhe vai permitir trocar calor com os gases de queima subindo a sua temperatura para cerca de 84 °C.

O transporte de lâmina é realizado pelo mecanismo de galope, sendo que a cortina de protecção radiactiva acompanha este movimento, tentando que a área visível do forno seja sempre a menor possível. (Rosa, 2009)



Figura 26: Aspecto do forno 513 /Linha 405 (**Fonte:** Rosa, 2009)

Tal como anteriormente, procedeu-se a uma análise com base numa fronteira que apresenta dos fluxos de entrada e saída representados na figura seguinte.

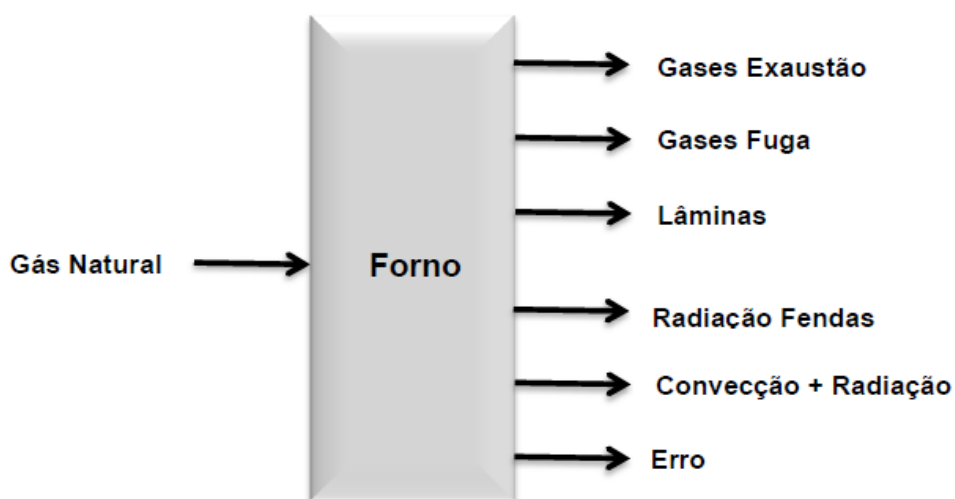


Figura 27: Esquema do balanço energético (**Fonte:** Rosa, 2009)

As equações de balanço que regem o funcionamento deste forno são em tudo idênticas às dos fornos anteriores.

Para o desenvolvimento destes balanços foram utilizados as equações descritas no capítulo anterior, sendo que a principal, o balanço energético à fronteira global é dado por:

$$Q_{GN} = \Delta Q_{lâminas} + \Delta Q_{gases\ exaustão} + \Delta Q_{gases\ fuga} + Q_{c+r} + Q_{rad} + Q_{fecho}$$

Esta equação encontra-se detalhada e descrita anteriormente e as tabelas completas podem ser verificadas no Anexo C.

Assim, a tabela seguinte quantifica os vários fluxos presentes em termos energéticos.

Tabela 4: Resultados do Balanço Energético ao Forno 513 /Linha 405

Designação	Potência (kW)	Distribuição (%)
ENTRADAS	304	100
Gás Natural	304	100
SAÍDAS PRODUTIVAS	110	36
Lâminas	110	36
OUTRAS SAÍDAS	194	64
Gases de exaustão	122	40
Gases de fuga	116	38
Convecção + Radiação + Fendas	45	15
Erro de Fecho	-90	-30

Verifica-se que este forno apresenta um rendimento de 36% e um erro de valor relativo de -30%. O valor do erro de -30% é elevado e o erro de fecho negativo indica que alguns dos termos de saída possam estar sobredimensionados, ou as entradas subdimensionadas.

Foram ainda efectuados cálculos, seguindo a metodologia da equação 7 descrita no capítulo anterior, em relação à eficiência energética dos fornos. Para este forno em questão foi determinado que a eficiência energética do mesmo é de apenas 16%.

4.4. Análise Energética ao Forno 514 / Linha 409

O forno 514 é um forno de fenda recente (2008) que tem por função a laminagem parabólica. As lâminas deslocam-se no interior do forno com base no mecanismo de galope. A entrada de ar para queima permuta calor com gases de exaustão no topo do forno permitindo subir a sua temperatura. A franja de protecção da emissão radiactiva do forno acompanha o galope do forno, minimizando assim as perdas por radiação. (Rosa, 2009)



Figura 28: Aspecto do forno 514 /Linha 409 (**Fonte:** Vendeirinho, 2013)

Tal como anteriormente, procedeu-se a uma análise com base numa fronteira que apresenta dos fluxos de entrada e saída representados na figura seguinte.

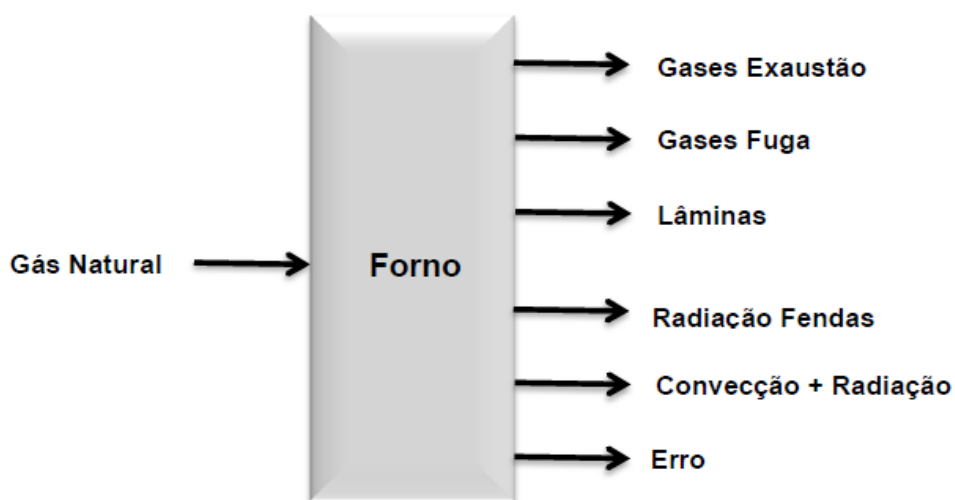


Figura 29: Esquema do balanço energético (**Fonte:** Rosa, 2009)

As equações de balanço que regem o funcionamento deste forno são em tudo idênticas às dos fornos anteriores.

Para o desenvolvimento destes balanços foram utilizados as equações descritas no capítulo anterior, sendo que a principal, o balanço energético à fronteira global é dado por:

$$Q_{GN} = \Delta Q_{laminas} + \Delta Q_{gases\ exaustão} + \Delta Q_{gases\ fuga} + Q_{c+r} + Q_{rad} + Q_{fecho}$$

Esta equação encontra-se detalhada e descrita anteriormente e as tabelas completas podem ser verificadas no Anexo C.

Assim, a tabela seguinte quantifica os vários fluxos presentes em termos energéticos.

Tabela 5: Resultados do Balanço Energético ao Forno 514 /Linha 409

Designação	Potência (kW)	Distribuição (%)
ENTRADAS	330	100
Gás Natural	330	100
SAÍDAS PRODUTIVAS	114	34
Lâminas	114	34
OUTRAS SAÍDAS	217	66
Gases de exaustão	108	33
Gases de fuga	0	0
Convecção + Radiação	35	10
Erro de Fecho	74	22

Verifica-se que este forno apresenta um rendimento de 34% e um erro de valor relativo de 22%. O valor do erro de 22% é elevado e pressupõe que possa existir algum subdimensionamento dos termos existentes nas saídas.

Foram ainda efectuados cálculos, seguindo a metodologia da equação 7 descrita no capítulo anterior, em relação à eficiência energética dos fornos. Para este forno em questão foi determinado que a eficiência energética do mesmo é de 57%.

4.5. Análise Energética ao Forno 534 / Linha 406

O forno 534, inserido numa linha de laminagem parabólica, destina-se ao aquecimento de pontas das peças metálicas para que estas sejam posteriormente laminadas.

As lâminas estão apoiadas numa corrente que promove o seu transporte para o interior e ao longo do forno. A queima do gás natural é realizada com pré-mistura do ar de combustão, introduzido anteriormente por um ventilador.

Nos fornos com esta configuração, são consideradas as infiltrações de ar exterior e as fugas dos gases de combustão. As perdas do forno por radiação e convecção são também analisadas e incluídas no balanço de energia. (Rosa, 2009)



Figura 30: Aspecto geral do forno 534 /Linha 406 (Fonte: Rosa, 2009)

Neste forno salienta-se o facto da protecção radiactiva lateral (lona suspensa) se encontrar afastada em relação ao forno de cerca de 25cm reduzindo o efeito de protecção das perdas de radiação pretendido. (Rosa, 2009)

Tal como anteriormente, procedeu-se a uma análise com base numa fronteira que apresenta dos fluxos de entrada e saída representados na figura seguinte.

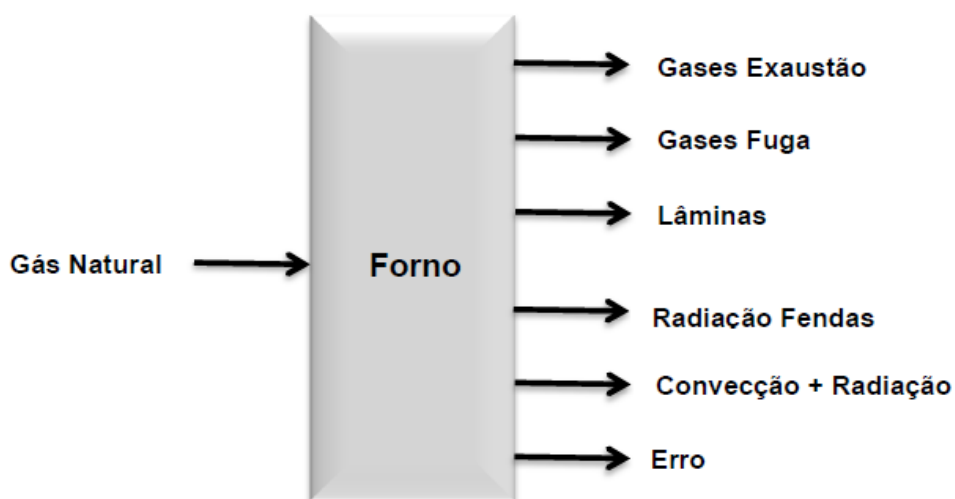


Figura 31: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)

As equações de balanço que regem o funcionamento deste forno são em tudo idênticas às dos fornos anteriores.

Para o desenvolvimento destes balanços foram utilizados as equações descritas no capítulo anterior, sendo que a principal, o balanço energético à fronteira global é dado por:

$$Q_{GN} = \Delta Q_{lâminas} + \Delta Q_{gases\ exaustão} + \Delta Q_{gases\ fuga} + Q_{c+r} + Q_{rad} + Q_{fecho}$$

Esta equação encontra-se detalhada e descrita anteriormente e as tabelas completas podem ser verificadas no Anexo C.

Assim, a tabela seguinte quantifica os vários fluxos presentes em termos energéticos.

Tabela 6: Resultados do Balanço Energético ao Forno 514/ Linha 406

Designação	Potência (kW)	Distribuição (%)
ENTRADAS	485	100
Gás Natural	485	100
SAÍDAS PRODUTIVAS	114	23
Lâminas	114	23
OUTRAS SAÍDAS	371	77
Gases de exaustão	133	27
Gases de fuga	97	20
Convecção + Radiação	55	11
Erro de Fecho	87	18

Verifica-se que este forno apresenta um rendimento de cerca de 23% e um erro de valor relativo de 18%. O valor do erro de 18% pressupõe que possa existir algum subdimensionamento dos termos existentes nas saídas.

Foram ainda efectuados cálculos, seguindo a metodologia da equação 7 descrita no capítulo anterior, em relação à eficiência energética dos fornos. Para este forno em questão foi determinado que a eficiência energética do mesmo é de 41%.

4.6. Análise Energética ao Forno 537 / Linha 602

O forno de têmpera 537, destina-se ao tratamento térmico das peças metálicas após terem passado pelos processos anterior de laminagem.

Neste forno existe um permutador do tipo ar-ar onde se promove a permuta térmica entre os gases de exaustão do forno e ar novo introduzido através de um ventilador. Este caudal de ar aquecido é depois utilizado durante o processo de combustão. (Rosa, 2009)



Figura 32: Aspecto geral do forno 537 /Linha 602 (**Fonte:** Vendeirinho, 2013)



Figura 33: Chaminé dos gases de exaustão do forno 537 /Linha 602 (**Fonte:** Rosa, 2009)

Como a chaminé localizada no topo do forno encontra-se usualmente tamponada, os gases de exaustão do forno, após passagem no permutador de calor, escoam-se pelas aberturas que existem para entrada e saída das lâminas. E por estas ocorrem igualmente infiltrações de ar exterior. As perdas do forno por radiação são devidas, quer a perdas pelas

paredes do forno, quer a perdas pelas fendas (que encontram-se mitigadas pela existência de uma porta móvel que apenas abre aquando da saída da lâmina). (Rosa, 2009)

Tal como anteriormente, procedeu-se a uma análise com base numa fronteira que apresenta dos fluxos de entrada e saída representados na figura seguinte.

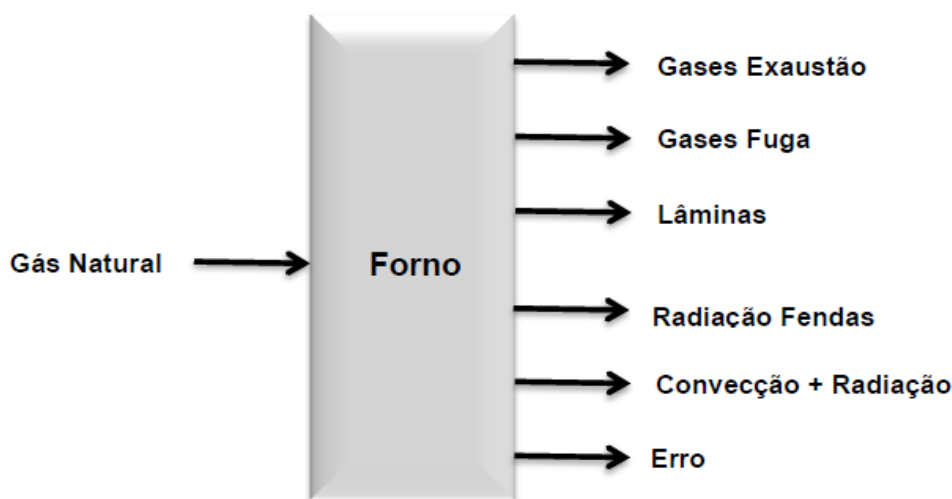


Figura 34: Esquema do balanço energético (Fonte: Rosa, 2009)

As equações de balanço que regem o funcionamento deste forno são em tudo idênticas às dos fornos anteriores.

Para o desenvolvimento destes balanços foram utilizados as equações descritas no capítulo anterior, sendo que a principal, o balanço energético à fronteira global é dado por:

$$Q_{GN} = \Delta Q_{lâminas} + \Delta Q_{gases\ exaustão} + \Delta Q_{gases\ fuga} + Q_{c+r} + Q_{rad} + Q_{fecho}$$

Esta equação encontra-se detalhada e descrita anteriormente e as tabelas completas podem ser verificadas no Anexo C.

Assim, a tabela seguinte quantifica os vários fluxos presentes em termos energéticos.

Tabela 7: Resultados do Balanço Energético ao Forno 537/ Linha 602

Designação	Potência (kW)	Distribuição (%)
ENTRADAS	883	100
Gás Natural	883	100
SAÍDAS PRODUTIVAS	224	25
Lâminas	224	25
OUTRAS SAÍDAS	659	75
Gases de exaustão	480	54
Gases de fuga	0	0
Convecção + Radiação	141	16
Erro de Fecho	38	4

Verifica-se que este forno apresenta um rendimento de 25% e um erro de valor relativo de 4%. O rendimento de 25% é considerado baixo para um forno com esta configuração, contudo o mesmo pode ser devido ao baixo caudal de lâminas na altura da medição. Verifica-se ainda grandes perdas através dos gases de exaustão, que representam 54% do valor das saídas do processo.

Foram ainda efectuados cálculos, seguindo a metodologia da equação 7 descrita no capítulo anterior, em relação à eficiência energética dos fornos. Para este forno em questão foi determinado que a eficiência energética do mesmo é de 30%.

4.7. Comparação dos Resultados

Procedeu-se a uma compilação dos resultados anteriormente obtidos para os diferentes fornos de forma a poder ter uma melhor percepção dos resultados em relação ao rendimento e erro de cada um dos fornos. Assim, na tabela seguinte estão apresentados os valores de rendimento e erro de cada forno estudado.

Tabela 8: Resumo dos resultados para os fornos estudados

Forno	Tipo	Rendimento (%)	Fecho (%)	Eficiência Energética (%)
511	Enrolamento Olhais	19	-4	15
512	Laminador Parabólico	41	2	50
513	Laminador Parabólico	36	-30	16
514	Laminador Parabólico	34	22	57
534	Laminador Parabólico	23	18	41
537	Têmpera	25	4	30

Verifica-se que o forno 513 apresenta um rendimento razoável, 36% mas também apresenta um erro de fecho maior, -30%. É também o forno, da linha dos laminadores parabólicos que apresenta uma menor eficiência energética, de apenas 16%. Por este motivo este é um forno onde devem ser efectuados estudos de forma a diminuir o erro de fecho e aumentar a eficiência energética, sendo que desta forma minimiza também o consumo de gás natural. Como foi verificado anteriormente, no capítulo 2, nas figuras 13, 15 e 16, os fornos da linha dos laminadores são dos que mais consomem gás natural, representando 35% do consumo total da fábrica. A cima destes só mesmo os fornos de têmpera. Contudo o estudo de minimização de consumo de gás natural irá incidir sobre os fornos da linha da laminagem, como poderá ser verificado no capítulo seguinte.

Uma eficiência energética baixa significa que existem bastantes perdas associadas ao processo, assim, através dos valores anteriormente obtidos consta-se que os fornos 511 e 513

sofrem bastantes perdas durante o processo que lhes está associado, enrolamento de olhais e laminagem, respectivamente.

5. Simulação de Processos de Melhoria dos Fornos de Laminagem

A síntese e a análise de processos industriais têm vindo a evoluir por incorporação de novas ferramentas de cálculo, a utilização de computadores cada vez mais potentes veio tornar obsoleta a utilização de correlações empíricas simples, as quais foram progressivamente substituídas por modelos numéricos mais rigorosos e complexos.

Actualmente, a simulação assistida por computador é uma das mais importantes ferramentas tecnológicas de processo, a qual é amplamente utilizada não só na fase de projecto mas também, e principalmente, durante a fase de operação das unidades. (Trindade, 2008)

Uma ferramenta bastante usada hoje em dia é o *software* Aspen HYSYS, que é um abrangente sistema de modelação de processos, utilizado mundialmente em áreas de produção de óleos e gás, refinarias e companhias de engenharia para otimizar os seus processos, seja no design de processos seja nas operações. (Aspen, 2011)

Através deste *software* foram efectuados estudos aos fornos de laminagem para verificar a possibilidade de redução do consumo de gás natural, fazendo a simulação do processo produtivo e também de alterações possíveis ao mesmo.

5.1. Estudos ao Forno 513 / Linha 405

De forma a comparar os resultados obtidos no consumo de gás natural pela Frauenthal foi efectuada a simulação do processo produtivo, tentando simular as condições operatórias da mesma. Assim sendo, simulou-se tendo por base o forno **laminador nº 513, linha 405**.

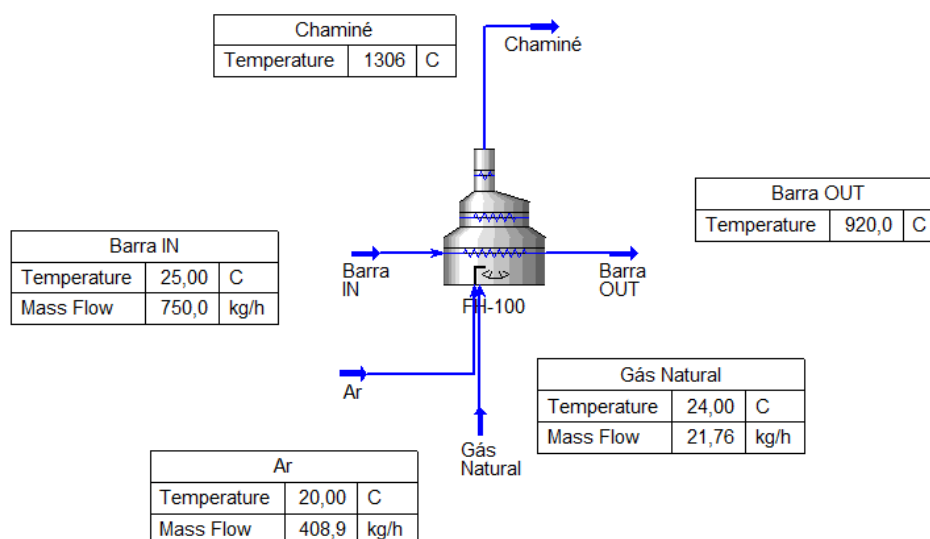


Figura 35: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405

A corrente *Barra IN* tem conduções idênticas às barras de aço utilizadas na Frauenthal, foi escolhido um elemento com Cp igual às mesmas, 0,5 kJ/kg °C. O caudal mássico de entrada no processo foi de metade do calculado para as barras, uma vez que nos laminadores apenas é aquecida metade da peça, assim sendo considerou-se um caudal mássico de 750 kg/h. Condições de temperatura e pressão iguais, isto é, 25°C e 1atm.

A corrente de *Ar* é constituída por 79% de azoto e 21% de oxigénio, simulando assim o ar atmosférico, a 20°C e 1 atm.

A corrente de *Gás Natural* tem a composição do Gás Natural utilizado pela Frauenthal, % volumétricas.

Tabela 9: Composição do Gás Natural utilizado na Frauenthal com base em dados da Galp (%Volumétricas)

	% (Média GN Fornecido)
Metano	88,58
Etano	7,7
Propano	1,86
i-Butano	0,22
n-Butano	0,19
i-Pentano	0,02
n-Pentano	0,01
C 6+	0
Azoto	0,67
CO₂	0,74

Na fornalha definiu-se uma eficiência de 30%, um pouco superior à calculada para este forno no subcapítulo 4.3, que era de apenas 16%, e um excesso de ar de 15%. Definiu-se ainda que a corrente de *Barra OUT* deveria ter uma temperatura de 920 °C.

Com as condições simuladas pelo HYSYS, verifica-se que para se atingir a temperatura de 920 °C da barra à saída do forno, é necessário um caudal mássico de Gás Natural de 21,76 kg/h. Comparando com a média de Gás Natural utilizado pela Frauenthal (Jan12 a Julho13), que é de 24,29 kg/h, verifica-se que se aumentar a eficiência energética da fornalha faz com que o consumo de gás natural baixe 10,34% do que o que está a ser consumido actualmente. Há uma situação que o HYSYS não simula, que são as perdas por radiação e nesse sentido o consumo não é exacto, mas sim aproximado. Essa situação pode facilmente comprovada pelo valor da temperatura dos gases de combustão (corrente *Chaminé*), em que no HYSYS verifica-se que os mesmos saem a 1306 °C enquanto que na informação dada pela Frauenthal estes saem a 458,7 °C.

Foram testadas 2 soluções para minimizar ainda mais o consumo de Gás Natural, a primeira que implicava reciclar os gases da chaminé e misturá-los com o ar à entrada da fornalha. A segunda implicava um aquecimento com um permutador de calor do ar à entrada.

Assim, para o 1º caso de estudo foi o seguinte:

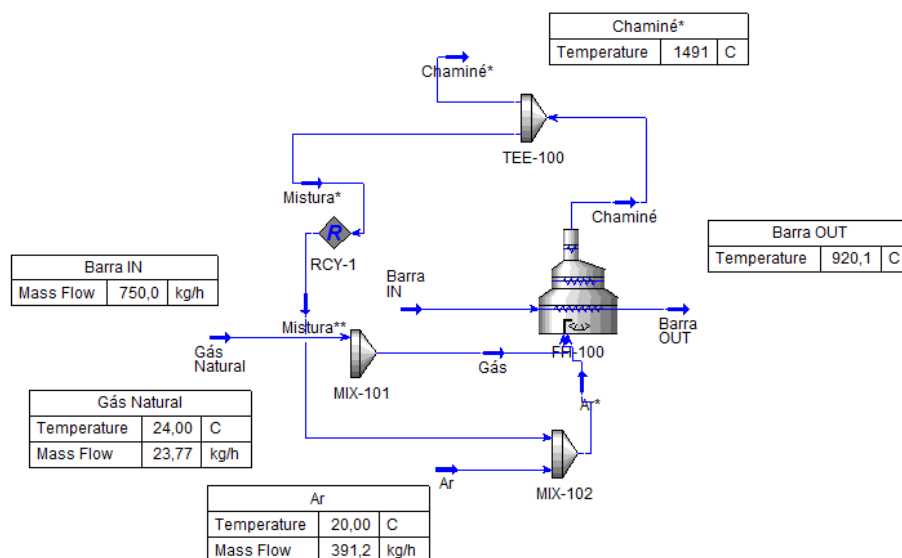


Figura 36: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com recirculação do ar

Para se obter a temperatura desejada na corrente de *Barra OUT*, foi introduzido um excesso de 10% de caudal molar na corrente de *Ar* em relação à corrente de *Gás Natural*. Foi ainda efectuado o estudo de alteração da fracção da mistura, em que se verificou que a melhor fracção é a de 0,1 Mistura/ 0,9 Chaminé para obter a temperatura de 920,1 °C, temperatura mais próxima da realidade, com menor consumo de *Gás Natural*, contudo, mesmo desta forma verifica-se um consumo superior ao verificado sem o uso do reciclo, isto é verifica-se um consumo de 23,77 kg/h. Assim, pode-se concluir que este processo não se verificou viável.

De seguida apresenta-se o 2º caso de estudo, em que representa a introdução de um permutador de calor no processo.

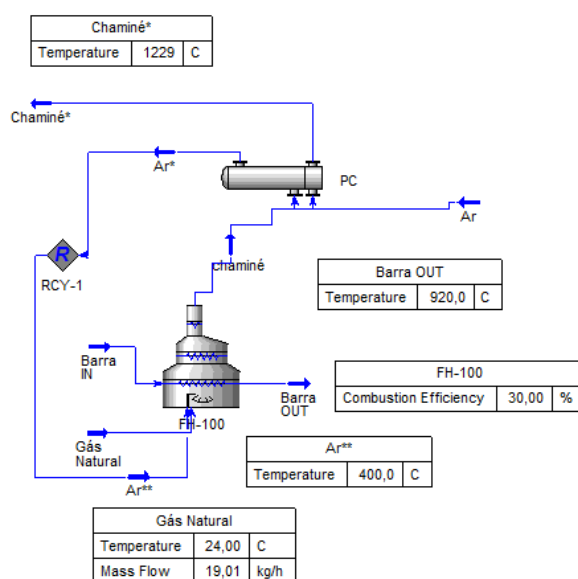


Figura 37: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com introdução de um permutador de calor

Deixando as mesmas condições iniciais e efectuando apenas com a troca de calor entre a chaminé e a corrente de ar, verifica-se uma diminuição no consumo de gás natural para 19,01 kg/h. À medida que se aumenta a eficiência na fornalha verifica-se também uma diminuição gradual do caudal mássico necessário de gás natural para atingir a temperatura de 920 °C na barra à saída. A temperatura de ar à entrada passa a ser de 400 °C. Este aumento de 14% na eficiência energética em relação à que o forno tem actualmente permite uma redução no consumo de gás natural de 21,30%.

Verifica-se que apenas é possível colocar uma eficiência de 56%, com essa eficiência é possível baixar o caudal mássico para 10,19 kg/h, como pode ser verificado na figura abaixo, desta forma consegue-se obter uma poupança de 58% em relação ao Gás Natural actualmente consumido na Frauenthal.

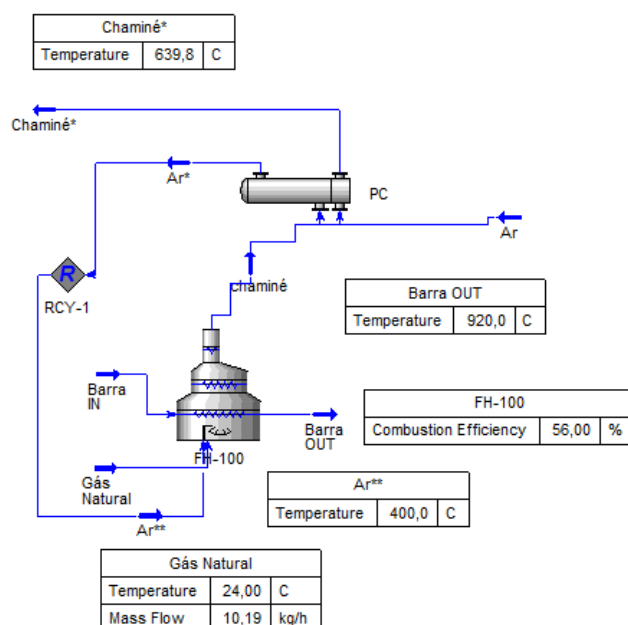


Figura 38: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com introdução de um permutador de calor e aumento da Eficiência Energética

Este é o caso em que se verifica uma diferença menor na temperatura dos gases de combustão (chaminé) em relação ao indicado pela Auditoria Energética (Rosa, 2009). apenas verifica-se uma diferença de 154,1 °C.

Através da figura seguinte, comprova-se o anteriormente falado, que com o aumento da eficiência verifica-se uma redução significativa no consumo de gás natural, de 46,4% em relação a uma eficiência energética de 30%.

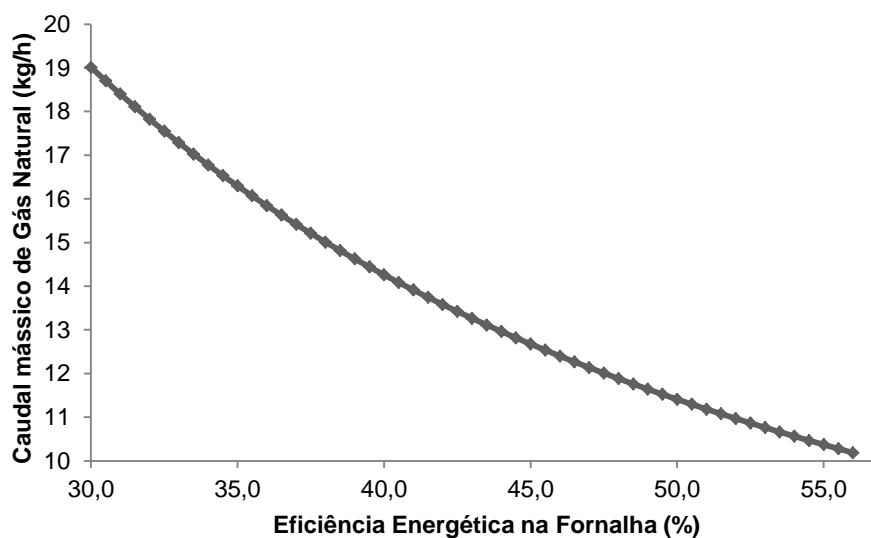


Figura 39: Gráfico representativo do estudo da Eficiência Energética em relação ao consumo de Gás Natural

Sabe-se que no final do forno em estudo está colocada uma chaminé que possui um permutador de calor incorporado que lhe vai permitir trocar calor com os gases de queima subindo a temperatura para 84 °C. Foi efectuada a simulação com a temperatura do ar à entrada ser de 84 °C, as restantes condicionantes foram mantidas.

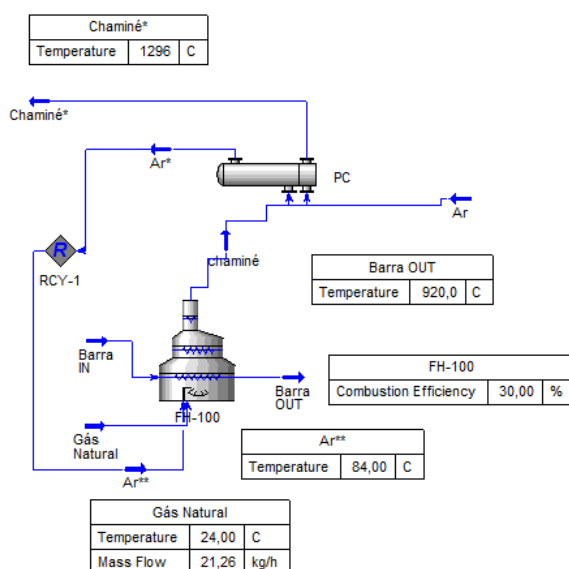


Figura 40: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com temperatura de entrada do Ar igual à utilizada na fábrica

Como pode ser verificado em relação ao primeiro estudo efectuado e demonstrado na Figura 35 existe uma pequena diminuição do consumo de Gás Natural, neste caso o consumo é de 21,26 kg/h, o que representa uma diminuição de cerca de 2%.

Contudo com estes valores e voltando a fazer o estudo em função da Eficiência Energética, verifica-se que o máximo que esta atinge é de 51%, e o consumo de gás natural passa a ser de 12,50 kg/h. Em relação à simulação anterior em que permitia aquecer o ar de entrada até 400 °C verifica-se que este caso continua a ser o mais viável em termos de redução do consumo de gás natural pelo processo.

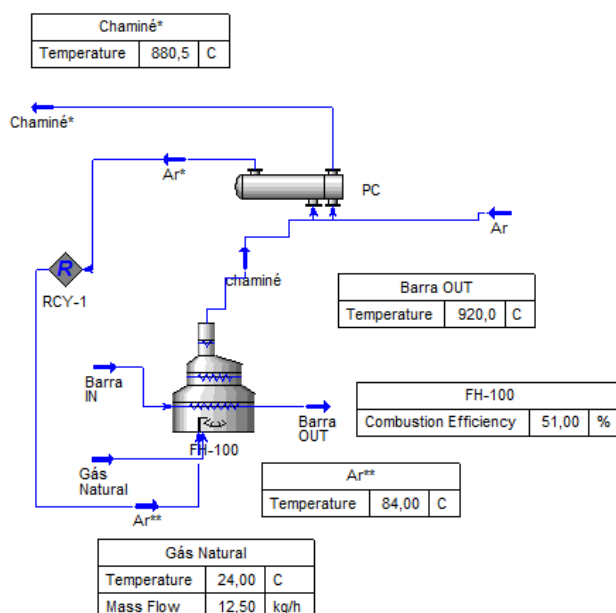


Figura 41: Simulação do processo produtivo do forno 513/ linha 405 com temperatura de entrada do Ar igual à utilizada na fábrica e aumento da Eficiência Energética

Tabela 10: Tabela comparativa dos valores de consumo de Gás Natural nos diferentes processos estudados para o forno 513/ linha 405

	Consumo Gás Natural (kg/h)	Consumo Gás Natural (kW)	Redução (%)	Diferença Consumo Gás Natural com Real (kW)
1	24,27	304,25		
2	21,76	289,23	10,34	15,02
3	23,77	315,94	2,06	-11,69
4	19,10	253,87	21,30	50,38
5	21,26	282,58	12,40	21,67

Legenda:

1. Processo com os consumos da Frauenthal;
2. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal;
3. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com recirculação de ar;
4. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com permutador de calor e temperatura de ar à entrada de 400 °C (eficiência energética a 30%);
5. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com permutador de calor e temperatura de ar à entrada de 84 °C, simulando o processo existente na Frauenthal (eficiência energética a 30%);

O valor do consumo de gás natural em kW foi calculado tendo por base os valores retirados do HYSYS, utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3, a equação 2. O valor de PCI utilizado foi de 47850 kJ/kg, retirado das propriedades da corrente de *Gás Natural* do HYSYS.

Como o valor do PCI é diferente do que foi utilizado para cálculo do consumo de gás natural, a redução foi apenas calculada em relação ao consumo mássico de gás natural (kg/h).

Através da tabela 9 verifica-se que é possível reduzir o consumo de gás natural até 21% do que actualmente é consumido na Frauenthal, para isso deverá ser introduzido um permutador de calor que permita aquecer a corrente de ar à entrada até 400 °C e aumentar a eficiência energética do forno para 30%. Verificou-se que é ainda possível aumentar a eficiência energética nos casos estudados com os permutadores de calor contudo estes apresentavam uma diminuição do consumo de gás natural na ordem dos 60%, e uma vez que o simulador não contempla todas as perdas que o processo sofre não se torna viável considerar valores tão elevados de eficiência energética.

5.2. Estudos ao Forno 534 / Linha 406

Foi efectuada nova simulação desta vez tendo como objecto de estudo o **laminador nº 534, linha 406**. As únicas variáveis que foram alteradas em relação à linha 405, foi o caudal de lâminas à entrada (*BarraIN*) que foi de 840 kg/h, o valor de temperatura da barra à saída (*BarraOUT*) que foi de 947,5 °C e o valor da eficiência energética do forno que foi de 41%, conforme calculado anteriormente no subcapítulo 4.5.

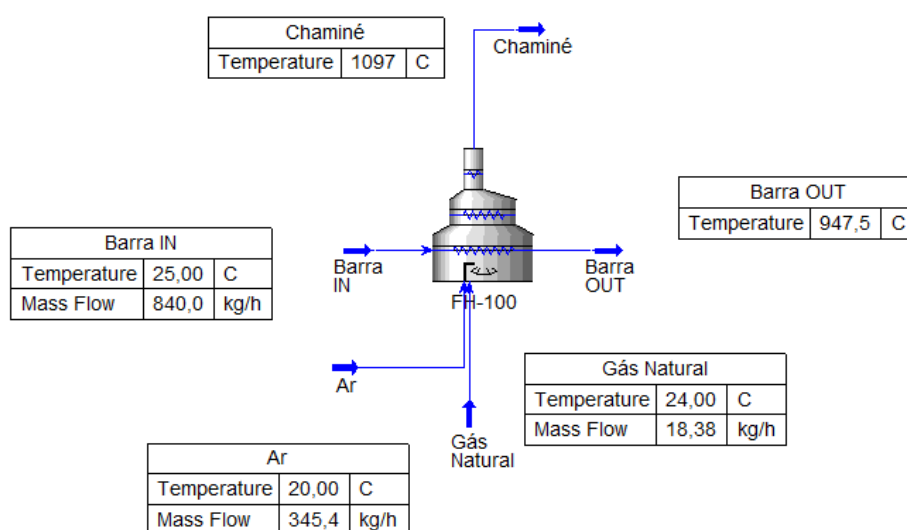


Figura 42: Simulação do processo produtivo do forno 534/ linha 406

Com as condições simuladas pelo HYSYS, verifica-se que para se atingir a temperatura de 947,5 °C da barra à saída do forno, é necessário um caudal mássico de Gás Natural de 18,38 kg/h. Comparando com a média de Gás Natural utilizado pela Frauenthal (Jan12 a Julho13), que é de 38,71 kg/h, verifica-se que em média consome-se mais 52,5 % do que o necessário. Mais uma vez o HYSYS não simula as perdas por radiação e nesse sentido o consumo não é exacto, mas sim aproximado. Essa situação pode facilmente comprovada pelo valor da temperatura dos gases de combustão (chaminé), em que no HYSYS verifica-se que os mesmos saem a 1097 °C enquanto que na informação dada pela Frauenthal estes saem a 452,8 °C.

Foram testadas novamente 2 soluções para minimizar ainda mais o consumo de Gás Natural, a primeira que implicava reciclar os gases da chaminé e misturá-los com o ar à entrada da fornalha. A segunda implicava um aquecimento com um permutador de calor do ar à entrada.

Assim, para o 1º caso de estudo foi o seguinte:

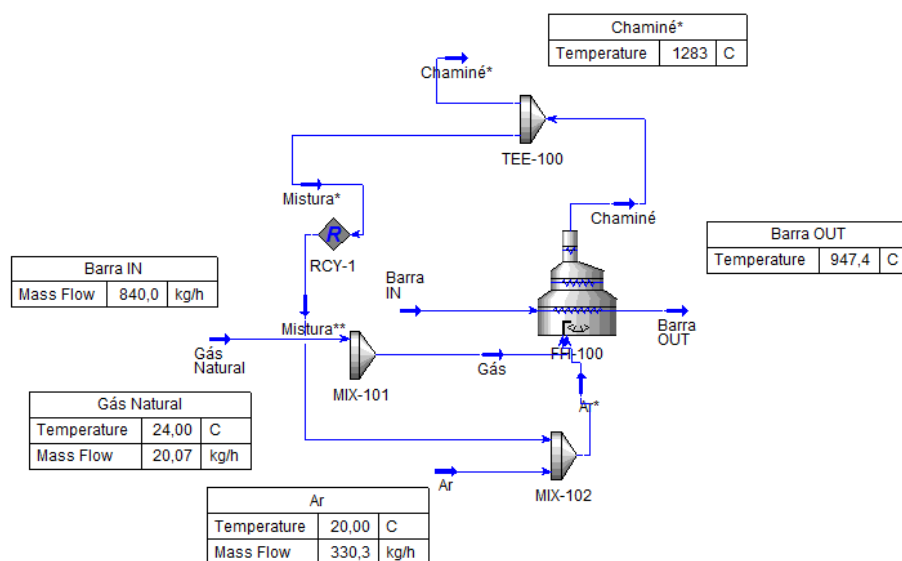


Figura 43: Simulação do processo produtivo do forno 534/ linha 406 com recirculação do ar

Para se obter a temperatura desejada na corrente de *Barra OUT*, foi introduzido um excesso de 10% de caudal molar na corrente de *Ar* em relação à corrente de *Gás Natural*. Foi ainda efectuado o estudo de alteração da fracção da mistura, em que se verificou que a melhor fracção é a de 0,1 Mistura/ 0,9 Chaminé para obter a temperatura de 947,4 °C, com menor consumo de Gás Natural, contudo, mesmo desta forma verifica-se um consumo superior ao verificado sem o uso do reciclo, isto é verifica-se um consumo de 20,07 kg/h. Assim, pode-se concluir que este processo não se verificou viável.

De seguida apresenta-se o 2º caso de estudo, em que representa a introdução de um permutador de calor no processo.

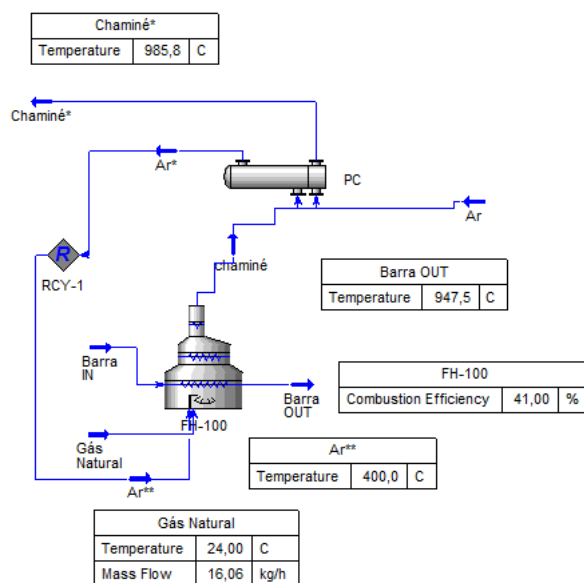


Figura 44: Simulação do processo produtivo do forno 534/ linha 406 com introdução de um permutador de calor

Verifica-se uma diminuição no consumo de gás natural para 16,06 kg/h, que corresponde a cerca de 13% em relação à simulação do processo sem permutador de calor, mas uma diminuição de 58,5% em relação ao consumido actualmente na Frauenthal. À medida que se aumenta a eficiência na fornalha verifica-se também uma diminuição gradual do caudal mássico necessário de gás natural para atingir a temperatura de 947,5 °C na barra à saída. A temperatura de ar à entrada passa a ser de 400 °C.

Verifica-se através da figura seguinte, Figura 45, que é possível colocar uma eficiência de 55% e com essa eficiência consegue-se uma diminuição do consumo de gás natural para 11,97 kg/h, desta forma consegue-se obter uma poupança de 28,5% em relação à simulação sem permutador de calor. Em relação ao consumo actual verifica-se uma redução de cerca de 70%.

Contudo na simulação não é possível ter em conta as perdas sofridas por radiação e isso pode ser confirmado através da temperatura dos gases de chaminé, que na simulação é de 660,8 °C e na realidade estes saem a cerca de 452,8 °C, havendo uma discrepância na ordem dos 200 °C.

Desta forma, como o aumento da eficiência energética apresentava uma diminuição do consumo de gás natural na ordem dos 70%, e uma vez que o simulador não contempla todas as perdas que o processo sofre não se torna viável considerar valores tão elevados de eficiência energética, pelo que os próximos estudos e análise serão efectuados utilizando a eficiência energética já praticada na Frauenthal, de 41%.

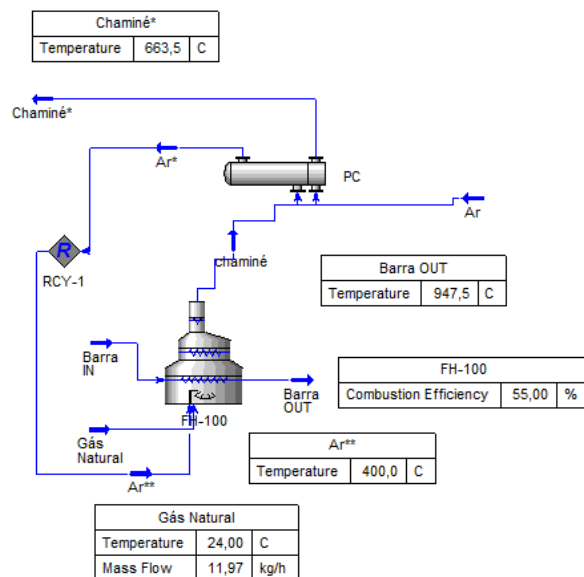


Figura 45: Simulação do processo produtivo do forno 534/ linha 406 com introdução de um permutador de calor e aumento da Eficiência Energética

Actualmente este forno já conta com reciclo, uma vez que a queima do gás natural é realizada com pré-mistura do ar de combustão. (Rosa, 2009)

Tabela 11: Tabela comparativa dos valores de consumo de Gás Natural nos diferentes processos estudados para o forno 534/ linha406

	Consumo Gás Natural (kg/h)	Consumo Gás Natural (kW)	Redução (%)	Diferença Consumo Gás Natural com Real (kW)
1	38,71	484,83		
2	18,38	244,30	52,52	240,53
3	20,07	266,76	48,15	218,07
4	16,06	213,46	58,51	271,37

Legenda:

1. Processo com os consumos da Frauenthal;
2. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal;
3. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com recirculação de ar;
4. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com permutador de calor e temperatura de ar à entrada de 400 °C (eficiência energética de 41%);

O valor do consumo de gás natural em kW foi calculado tendo por base os valores retirados do HYSYS, utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3, a equação 2. O valor de PCI utilizado foi de 47850 kJ/kg, retirado das propriedades da corrente de *Gás Natural* do HYSYS.

Como o valor do PCI é diferente do que foi utilizado para cálculo do consumo de gás natural, a redução foi apenas calculada em relação ao consumo mássico de gás natural (kg/h).

Através da tabela 10 verifica-se que é possível reduzir o consumo de gás natural até 59% do que actualmente é consumido na Frauenthal, para isso deverá ser introduzido um permutador de calor que permita aquecer a corrente de ar à entrada até 400 °C, mantendo a eficiência energética actual deste forno, que é de 41%.

5.3. Estudos ao Forno 512 / Linha 408

À semelhança dos anteriores foi efectuada nova simulação desta vez tendo como objecto de estudo o laminador nº 512, linha 408. As únicas variáveis que foram alteradas em relação às anteriores, foi o caudal de lâminas à entrada (*BarraIN*) que foi de 1613 kg/h, o valor de temperatura da barra à saída (*BarraOUT*) que foi de 920 °C e o valor da eficiência energética do forno que foi de 50%, conforme calculado anteriormente no subcapítulo 4.2. Desta forma, verifica-se que o consumo de gás natural é de 28,07 kg/h, na realidade com os dados da Frauenthal são consumidos 41,59 kg/h, isto é, consome-se mais 33 % do que o simulado, mais uma vez a simulação não contempla as perdas no processo, isto verifica-se pela temperatura dos gases de chaminé, 920,4 °C, enquanto que na realidade estes saem a 549 °C, uma diferença de cerca de 400 °C.

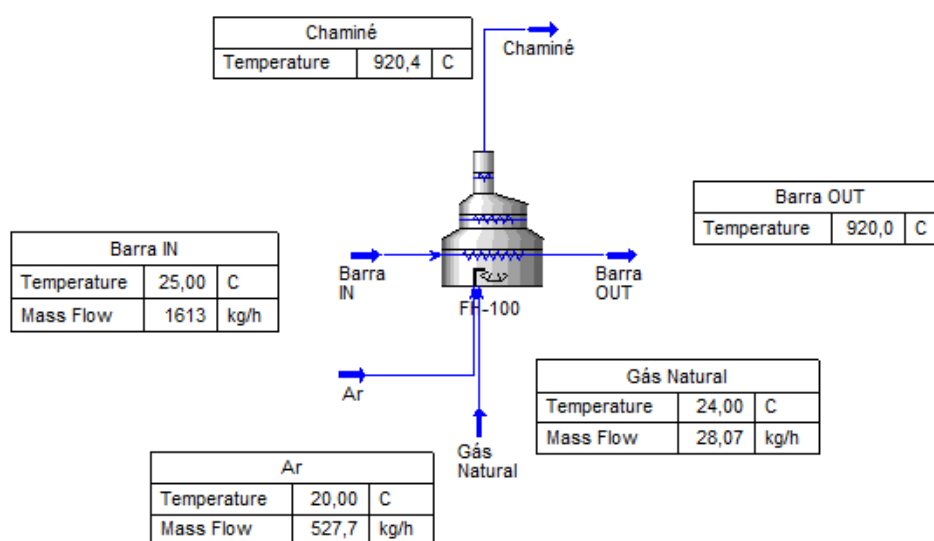


Figura 46: Simulação do processo produtivo do forno 512/ linha 408

Foram testadas novamente 2 soluções para minimizar ainda mais o consumo de Gás Natural, a primeira que implicava reciclar os gases da chaminé e misturá-los com o ar à entrada da fornalha. A segunda implicava um aquecimento com um permutador de calor do ar à entrada.

Assim, para o 1º caso de estudo foi o seguinte:

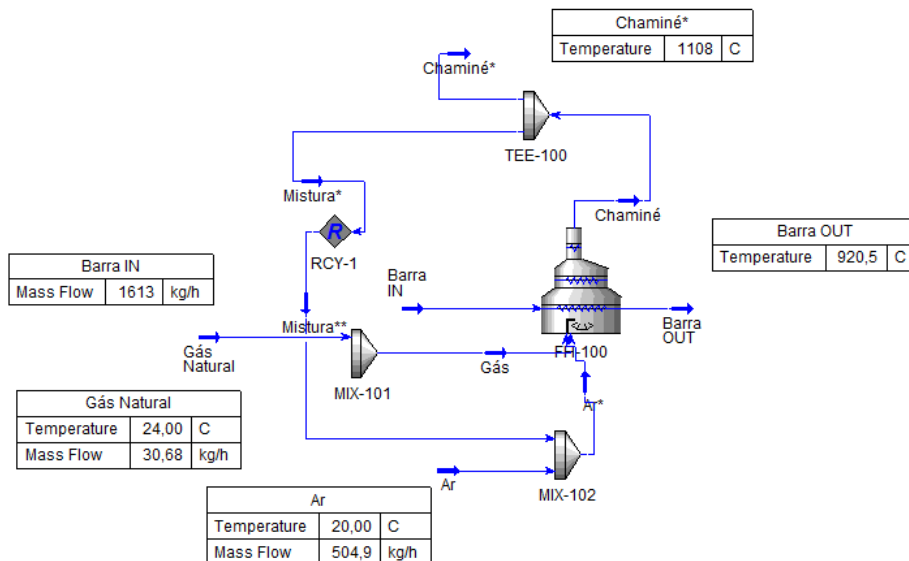


Figura 47: Simulação do processo produtivo do forno 512/ linha 408 com recirculação do ar

Para se obter a temperatura desejada na corrente de *Barra OUT*, foi introduzido um excesso de 10% de caudal molar na corrente de *Ar* em relação à corrente de *Gás Natural*. Foi ainda efectuado o estudo de alteração da fracção da mistura, em que se verificou que a melhor fracção é a de 0,1 Mistura/ 0,9 Chaminé para obter a temperatura próxima de 920 °C, com menor consumo de *Gás Natural*, contudo, mesmo desta forma verifica-se um consumo ligeiramente superior ao verificado sem o uso do reciclo, isto é verifica-se um consumo de 30,68 kg/h. Assim, pode-se concluir que este processo não se verificou viável.

De seguida apresenta-se o 2º caso de estudo, em que representa a introdução de um permutador de calor no processo.

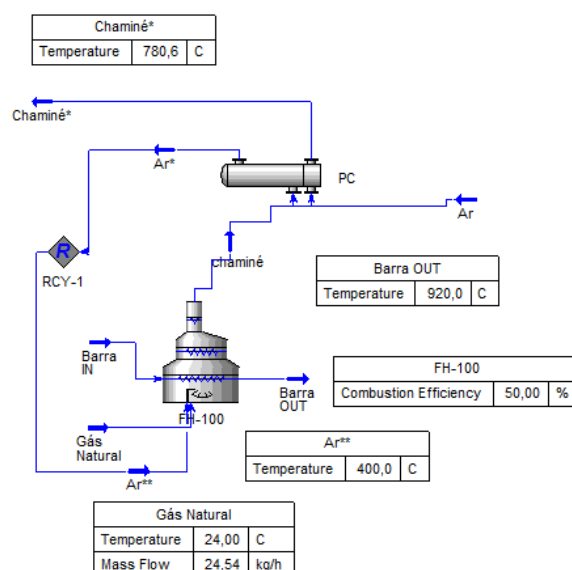


Figura 48: Simulação do processo produtivo do forno 512/ linha 408 com introdução de um permutador de calor

Verifica-se uma diminuição no consumo de gás natural para 24,54 kg/h, que corresponde a cerca de 13% em relação à simulação sem permutador de calor. À medida que se aumenta a eficiência na fornalha verifica-se também uma diminuição gradual do caudal mássico necessário de gás natural para atingir a temperatura de 920 °C na barra à saída. A temperatura de ar à entrada passa a ser de 400 °C.

Verifica-se que apenas é possível colocar uma eficiência máxima de 56% e com essa eficiência consegue-se uma diminuição do consumo de gás natural para 21,91 kg/h, desta forma consegue-se obter uma poupança de 22% em relação à simulação sem permutador de calor. Em relação ao consumo actual verifica-se uma redução de cerca de 41%. Desta forma verifica-se um consumo de gás natural de 21,91 kg/h, menos 22% que na simulação sem qualquer tipo de recirculação e menos cerca de 47% do que está a ser consumido na fábrica.

Como o aumento da eficiência energética apresenta uma diminuição do consumo de gás natural na ordem dos 47%, e uma vez que o simulador não contempla todas as perdas que o processo sofre não se torna viável considerar valores tão elevados de eficiência energética, pelo que os próximos estudos e análise serão efectuados utilizando a eficiência energética já praticada na Frauenthal, de 50%.

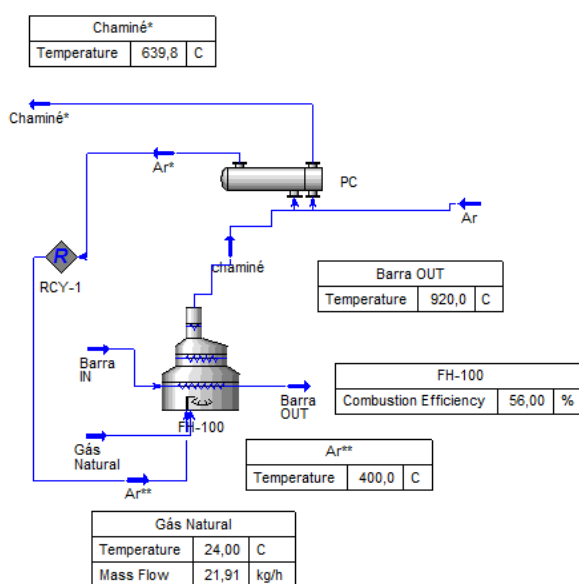


Figura 49: Simulação do processo produtivo do forno 512/ linha 408 com introdução de um permutador de calor e aumento da Eficiência Energética

Actualmente, parte do ar existente que sai do interior do forno é recolhida por uma estrutura metálica localizada junto à entrada das peças. Este caudal de ar servirá, depois de uma diluição com ar ambiente, para alimentar os queimadores a gás natural, tirando proveito da sua temperatura superior. (Rosa, 2009)

Tabela 12: Tabela comparativa dos valores de consumo de Gás Natural nos diferentes processos estudados para o forno 512/ linha408

	Consumo Gás Natural (kg/h)	Consumo Gás Natural (kW)	Redução (%)	Diferença Consumo Gás Natural com Real (kW)
1	41,59	521,04		
2	28,07	373,10	32,51	147,94
3	30,68	407,79	26,23	113,25
4	24,54	326,18	41,00	194,86

Legenda:

1. Processo com os consumos da Frauenthal;
2. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal;
3. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com recirculação de ar;
4. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com permutador de calor e temperatura de ar à entrada de 400 °C (eficiência energética a 50%);

O valor do consumo de gás natural em kW foi calculado tendo por base os valores retirados do HYSYS, utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3, a equação 2. O valor de PCI utilizado foi de 47850 kJ/kg, retirado das propriedades da corrente de *Gás Natural* do HYSYS.

Como o valor do PCI é diferente do que foi utilizado para cálculo do consumo de gás natural, a redução foi apenas calculada em relação ao consumo mássico de gás natural (kg/h).

Através da tabela 11 verifica-se que é possível reduzir o consumo de gás natural até 41% do que actualmente é consumido na Frauenthal, para isso deverá ser introduzido um permutador de calor que permita aquecer a corrente de ar à entrada até 400 °C mantendo a eficiência energética actual do forno de 50%.

5.4. Estudos ao Forno 514 / Linha 409

À semelhança dos anteriores foi efectuada nova simulação desta vez tendo como objecto de estudo o **laminador nº 514, linha 409**. As únicas variáveis que foram alteradas em relação às anteriores, foi o caudal de lâminas à entrada (*BarraIN*) que foi de 810 kg/h, o valor de temperatura da barra à saída (*BarraOUT*) que foi de 920 °C e o valor da eficiência energética do forno que foi de 50%, um pouco inferior à calculada para este forno no subcapítulo 4.4. Desta forma, verifica-se que o consumo de gás natural é de 14,10 kg/h, na realidade com os dados da Frauenthal são consumidos 26,37 kg/h, isto é, consome-se mais 47% do que o simulado, mais uma vez a simulação não contempla as perdas no processo, isto verifica-se pela temperatura dos gases de chaminé, 920,4 °C, enquanto que na realidade estes saem a 441,8 °C.

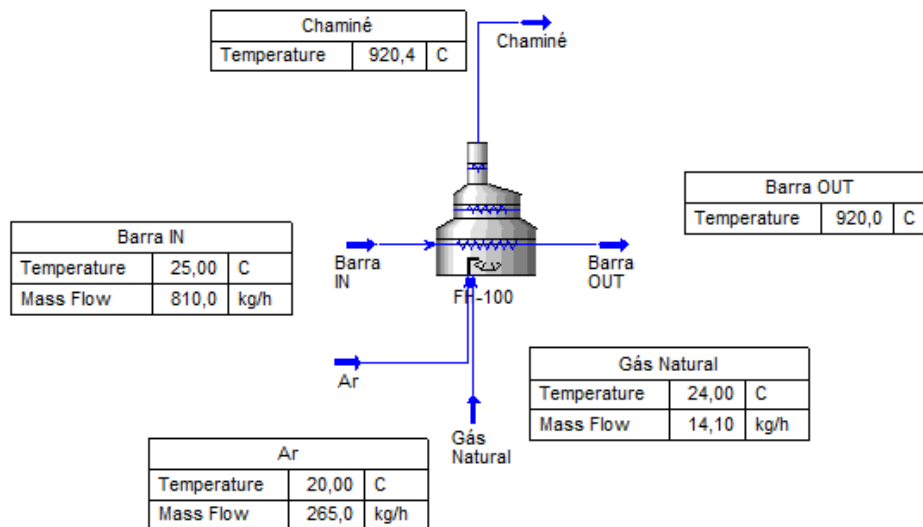


Figura 50: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409

Foram testadas novamente 2 soluções para minimizar ainda mais o consumo de Gás Natural, a primeira que implicava reciclar os gases da chaminé e misturá-los com o ar à entrada da fornalha. A segunda implicava um aquecimento com um permutador de calor do ar à entrada.

Assim, para o 1º caso de estudo foi o seguinte:

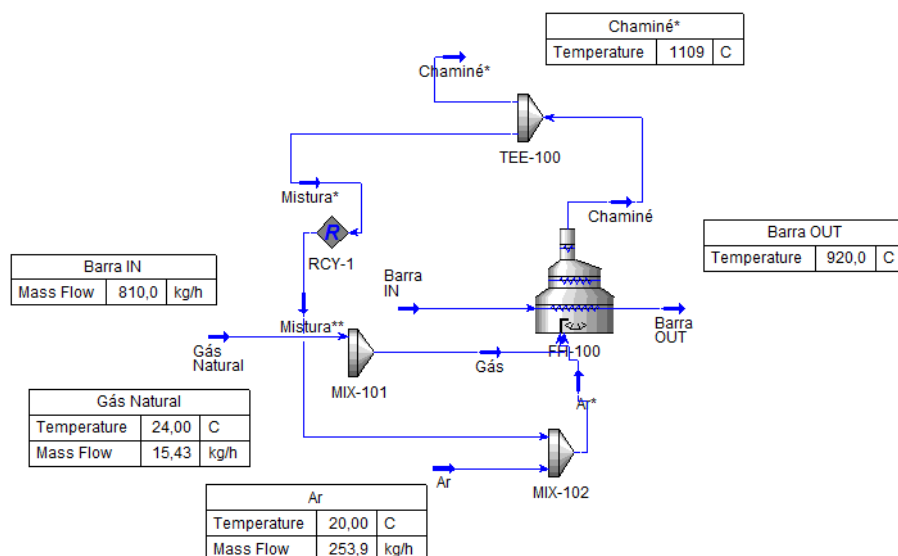


Figura 51: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com recirculação do ar

Para se obter a temperatura desejada na corrente de *Barra OUT*, foi introduzido um excesso de 10% de caudal molar na corrente de *Ar* em relação à corrente de *Gás Natural*. Foi

ainda efectuado o estudo de alteração da fracção da mistura, em que se verificou que a melhor fracção é a de 0,4 Mistura/ 0,6 Chaminé para obter a temperatura de 920 °C, com menor consumo de Gás Natural, contudo, mesmo desta forma verifica-se um consumo superior ao verificado sem o uso do reciclo, isto é verifica-se um consumo de 15,43 kg/h. Assim, pode-se concluir que este processo não se verificou viável.

De seguida apresenta-se o 2º caso de estudo, em que representa a introdução de um permutador de calor no processo.

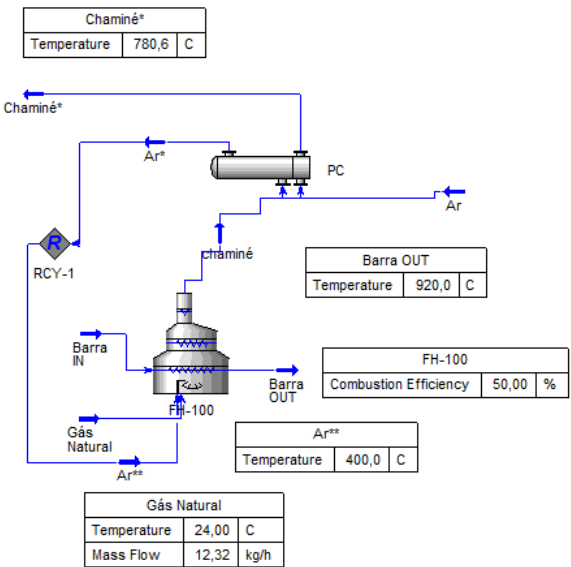


Figura 52: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com introdução de um permutador de calor

Verifica-se uma diminuição no consumo de gás natural para 12,32 kg/h, que corresponde a cerca de 13% em relação à simulação inicial. À medida que se aumenta a eficiência na fornalha verifica-se também uma diminuição gradual do caudal mássico necessário de gás natural para atingir a temperatura de 920 °C na barra à saída. A temperatura de ar à entrada passa a ser de 400 °C.

Verifica-se que com uma eficiência de 56% o consumo de gás natural é de 11 kg/h, menos 22% em relação à simulação sem permutador de calor e menos 58% em relação ao que está a ser consumido na fábrica.

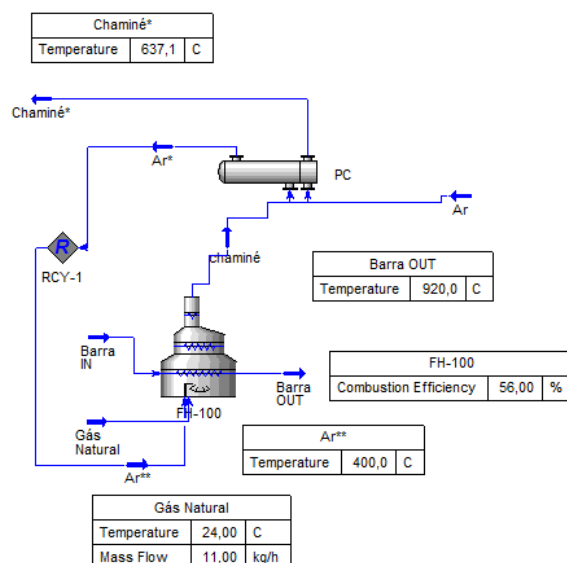


Figura 53: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com introdução de um permutador de calor e aumento da Eficiência Energética

Actualmente a entrada de ar para a queima permuta calor com gases de exaustão no topo do forno permitindo subir a sua temperatura. A franja de protecção da emissão radiactiva do forno acompanha o galope do forno, minimizando assim as perdas por radiação. (Rosa, 2009)

Foi efectuada a simulação com a temperatura do ar à entrada ser de 84 °C, as restantes condicionantes foram mantidas, à semelhança do que foi efectuada com o forno 513/ linha 405 que também já tem um permutador de calor incorporado.

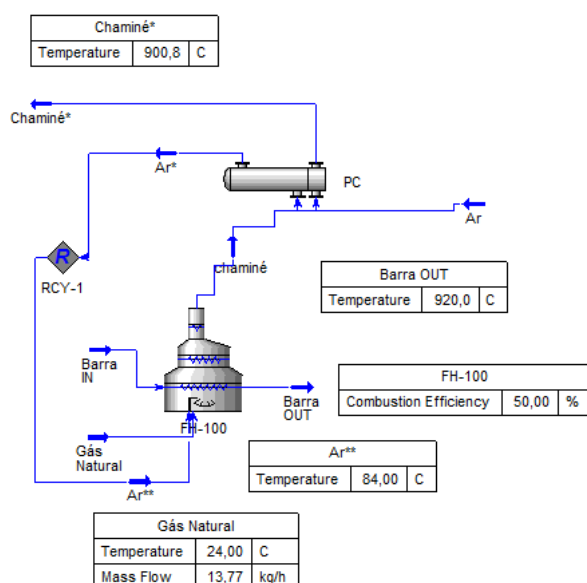


Figura 54: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com temperatura de entrada do Ar de 84 °C, para simular a realidade com a fábrica

Como pode ser verificado em relação ao primeiro estudo efectuado e demonstrado na Figura 50 existe uma diminuição do consumo de Gás Natural, o consumo nesse estudo foi de 14,10 kg/h, o que representa uma diminuição de cerca de 2%.

Contudo com estes valores e voltando a fazer o estudo em função da Eficiência Energética, verifica-se que o máximo que esta atinge é de 51 %, e o consumo de gás natural passa a ser de 13,50 kg/h, havendo uma redução em relação aos 13,77 kg/h de apenas 2%. Em relação à simulação anterior em que permitia aquecer o ar de entrada até 400 °C verifica-se que o consumo de gás natural é menor nessa condição, e desta forma esse caso continua a ser o mais viável em termos de redução do consumo de gás natural.

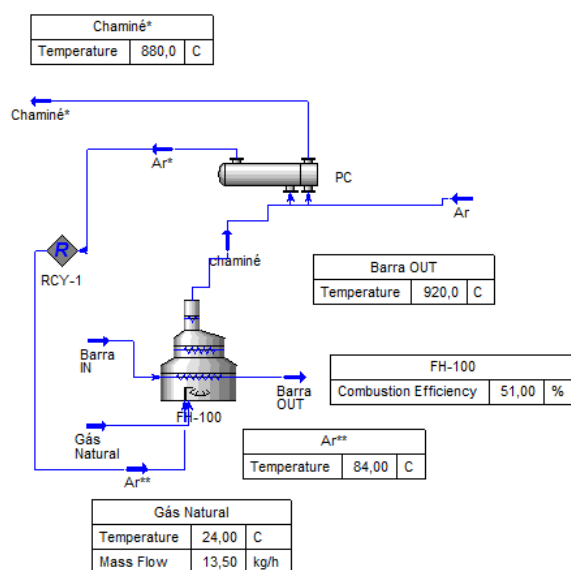


Figura 55: Simulação do processo produtivo do forno 514/ linha 409 com temperatura de entrada do Ar de 84 °C, para simular a realidade com a fábrica, e aumento da Eficiência Energética

Tabela 13: Tabela comparativa dos valores de consumo de Gás Natural nos diferentes processos estudados para o forno do forno 514/ linha 409

	Consumo Gás Natural (kg/h)	Consumo Gás Natural (kW)	Redução (%)	Diferença Consumo Gás Natural com Real (kW)
1	26,37	330,37		
2	14,10	187,41	46,53	142,96
3	15,43	205,09	41,49	125,28
4	12,32	163,75	53,28	166,62
5	13,77	183,03	47,78	147,34

Legenda:

1. Processo com os consumos da Frauenthal;
2. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal;
3. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com recirculação de ar;

4. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com permutador de calor e temperatura de ar à entrada de 400 °C (eficiência energética a 50%);
5. Simulação em HYSYS do processo da Frauenthal com permutador de calor e temperatura de ar à entrada de 84 °C, simulando o processo existente na Frauenthal (eficiência energética a 50%).

O valor do consumo de gás natural em kW foi calculado tendo por base os valores retirados do HYSYS, utilizando a metodologia apresentada no capítulo 3, a equação 2. O valor de PCI utilizado foi de 47850 kJ/kg, retirado das propriedades da corrente de *Gás Natural* do HYSYS.

Como o valor do PCI é diferente do que foi utilizado para cálculo do consumo de gás natural, a redução foi apenas calculada em relação ao consumo mássico de gás natural (kg/h).

Através da tabela 12 verifica-se que é possível reduzir o consumo de gás natural até cerca de 53% do que actualmente é consumido na Frauenthal, seja com a introdução de um permutador de calor que permita aquecer o ar à entrada até 400 °C ou com a manutenção do permutador de calor existente. Desta forma pode concluir-se que o permutador existente não está a funcionar eficazmente, podendo estar mal dimensionado ou sujo.

Uma vez que o simulador não contempla todas as perdas que o processo sofre e com o valor estabelecido de eficiência energética já se consegue uma redução bastante significativa, pelo que os próximos estudos e análise serão efectuados utilizando a eficiência energética estudada, de 50%.

5.5. Análise Financeira

A Frauenthal gasta em média €120000 por mês em Gás Natural, isto reflecte-se em cerca de €1440000 por ano. Desse valor, cerca de 30% é gasto nos fornos de laminagem anteriormente estudados, fornos 513, 534, 512 e 514, uma vez que nos mesmos é gasto cerca de €422400,5 anualmente. Com os estudos efectuados anteriormente consegue-se obter uma redução nos gastos com o gás natural nestes 4 fornos no valor de €194577,33 por ano, o que corresponde a uma diminuição ideal de 46% em relação ao actualmente gasto.

A redução de consumo de Gás Natural apresentada é em relação ao estudo que apresentou uma diminuição maior no consumo de Gás Natural, que foi a introdução de um permutador de calor que faria com que a corrente *Ar* entrasse a 400 °C.

Na tabela seguinte pode ser verificado o resumo do estudo efectuado ao consumo e custo anual com o Gás Natural.

Tabela 14: Tabela resumo do custo com o Gás Natural, actualmente e com a introdução da melhoria estudada

Fornos	Linhas	Custo Anual Gás (€)	Redução Consumo Gás (%)	Redução Custo Gás (€)	Custo Anual Gás após melhoria (€)
513	405	87529,02	21,30	18643,68	68885,34
534	406	145369,16	58,51	85055,50	60313,66
512	408	82328,92	41,00	33754,86	48574,06
514	409	107213,40	53,28	57123,30	50090,10
		422440,50		194577,33	227863,17

Como pode ser verificado na tabela anterior o custo anual de Gás Natural após introdução de permutador de calor com as especificações estudadas anteriormente levaria a uma diminuição do custo em €194577,33, que representa cerca de **46%** do custo actual. Anualmente o custo com o gás natural para os fornos de laminagem num sistema ideal passaria a ser de **€227863,17**.

Não existem sistemas ideais, por mais alterações que se façam existem sempre perdas associadas ao processo, por isso o valor de 46% não é real mas sim ideal. Estima-se que com a introdução dos permutadores de calor no processo consiga-se obter uma redução de cerca de **20 a 30%**, fazendo com que o consumo anual em relação a estes fornos esteja entre os **€337952,40** e **€295708,35** e o custo anual da fábrica com o gás natural passaria a estar entre **€1355511,90** e **€1313267,85**, o que equivale a uma diminuição entre os **6 e 9%** do consumo anual de gás natural.

5.6. Permutadores de Calor

A recuperação de calor perdido é um processo que utiliza tecnologias variadas para a recuperação e reutilização de calor rejeitado pelo processo. Esta energia térmica pode ser recuperada a partir de várias fontes: (Mangueijo, 2010)

- Gases de combustão;
- Efluentes quentes ou frios;
- Ar de exaustão;
- Produtos quentes ou frios, ou restos de produção;
- Água de arrefecimento e óleo hidráulico;
- Outras fontes.

As tecnologias mais comuns para a recuperação deste calor são: (Mangueijo, 2010)

- Permutador de calor para fazer uso directo do calor no mesmo estado em que se encontra;

- Bombas de calor e recompressão de vapor, que transformam o calor de modo a gerar trabalho mais útil do que este se encontrasse à sua temperatura inicial;
- Operações multi-estágio, tais como evaporadores multi-efeito, expansão de vapor e combinações das técnicas acima mencionadas.

A utilização de permutadores de calor possibilita a recuperação directa de calor, que consiste na transferência de calor entre dois fluídos através de uma superfície sólida. A transferência de calor ocorre por convecção e condução. Os permutadores de calor são concebidos para aplicações energéticas específicas e optimizadas. Assim, existem vários tipos de permutadores de calor: vários *designs*, diferentes materiais de construção, etc. A escolha do tipo de permutador deve ter em atenção a gama de temperaturas de operação e as propriedades físicas dos fluídos envolvidos na transferência de calor. A implementação desta medida permite reduções dos consumos energéticos e das emissões de gases poluentes. Além disso, a sua aplicabilidade estende-se a quase todos os sectores industriais, uma vez que o correspondente período de *payback* é normalmente curto, podendo ser de apenas 6 meses. (Mangueijo, 2010)

Devido ao seu *design*, os permutadores de caixa e tubos com *pitch* triangular que utilizem vapor *flash* impuro do lado da caixa, podem ter graves problemas com a deposição de sólidos. Se o vapor que entra do lado da caixa do permutador arrastar consigo gotículas de líquido e espumas que contenham quantidades apreciáveis de sólidos dissolvido, estes terão tendência a depositarem-se na superfície exterior dos tubos que se situem perto da zona de entrada de vapor na caixa. Este fenómeno diminui a eficiência energética do permutador, dificulta a sua limpeza devido ao *pitch* triangular e pode mesmo inutilizar o permutador permanentemente. A solução para permutadores que utilizem vapor *flash* impuro é a adopção de um design diferente, com um *pitch* mais largo e quadrangular. (Mangueijo, 2010)

Os permutadores de calor de caixa e tubos são rotineiramente sujeitos a uma limpeza com ácido para renovar a superfície interna dos tubos e recuperar a eficiência de troca de calor. Os permutadores têm de ser resistentes ao ácido (construção em aço inoxidável), o que traduz noutra vantagem não imediata: maior durabilidade. (Mangueijo, 2010)

Devido à sua importância na maioria dos processos industriais, uma manutenção eficaz dos permutadores é imprescindível. Especial atenção deve ser dada à limpeza (química ou mecânica) das superfícies de transferência de calor. (Mangueijo, 2010)

5.7. Alternativas aos Permutadores de Calor

Os recuperadores de calor e os regeneradores são os equipamentos que mais contribuem para o aumento da eficiência energética de sistemas de combustão. Estes equipamentos permitem o pré-aquecimento do ar de entrada, aumentando a eficiência energética da combustão. No entanto, este pré-aquecimento também leva a temperaturas de

chama mais elevadas, e, conseqüentemente, pode significar maiores produções de óxidos de azoto (NO_x). Embora as emissões destes NO_x para a atmosfera possam ser reduzidas através do tratamento dos gases de combustão (p.Ex., remoção catalítica), os custos associados a esta operação são normalmente elevados. Assim, existe uma pressão ambiental e económica para o desenvolvimento de sistemas de combustão a alta temperatura com baixas produções de NO_x . (Mangueijo, 2010)

Um recuperador é um permutador de calor que extrai calor dos gases de combustão para pré-aquecer o ar de entrada. No caso específico de fornos (fornalhas), a colocação de um recuperador para pré-aquecer o ar de entrada leva a um aumento de eficiência energética em 30%. Nesta área, os principais desenvolvimentos efectuados têm-se centrado na utilização de queimadores auto-recuperativos e de recuperadores cerâmicos para altas temperaturas. Estes desenvolvimentos têm sempre como objectivo, a maximização da eficiência energética e a minimização das emissões de NO_x . Nos queimadores auto-recuperativos, o recuperador faz parte do queimador, diminuindo os custos em relação à opção de ter um queimador e um recuperador em separado. Os queimadores auto-recuperativos facilitam também a reconversão dos sistemas de combustão já existentes. (Mangueijo, 2010)



Figura 56 - Queimador auto-recuperativo (Fonte: Mangueijo, 2010)

Os queimadores regenerativos operam aos pares. Enquanto um queima o combustível, o outro queimador armazena calor num leito cerâmico poroso. Após um determinado período, os queimadores invertem os papéis e o calor armazenado no leito cerâmico é usado para pré-aquecer o ar de entrada. Desta forma, 85 – 90 % do calor contido nos gases de saída da combustão é recuperado. Estes equipamentos permitem pré-aquecer o ar de entrada até temperaturas muito elevadas (temperaturas apenas 100 a 150°C abaixo da temperatura interna do sistema de combustão), apesar de as possíveis emissões mais elevadas de NO_x limitarem essa temperatura, e dessa forma, também a recuperação energética. Comparando com o consumo de combustível dos queimadores sem pré-aquecimento de ar, a redução do consumo de combustível levada a cabo pelos queimadores regenerativos pode atingir os 50% ou 60%. (Mangueijo, 2010)

Estima-se que estes tipos de queimadores, quando alimentados a gás natural e mantendo baixas emissões de NO_x , levem a economias energéticas médias de 5%, sendo esta estimativa válida para as mais variadas aplicações de aquecimento de processos a altas temperaturas.

Em conclusão, com esta tecnologia, o ar de combustão é pré-aquecido a temperaturas muito altas antes da injeção na fornalha a alta velocidade, permitindo a queima total de combustível mesmo na presença de baixos teores de O_2 . As principais vantagens desta tecnologia são: (Mangueijo, 2010)

- Maior eficiência energética com redução das emissões de dióxido de carbono (CO_2);
- Perfil de temperaturas mais uniforme;
- Baixas emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de azoto (NO_x);
- Aumento da transferência de calor;
- Evita a utilização de outros equipamentos para aumentar a poupança energética nos sistemas de combustão;
- Aumenta a qualidade e produtividade do produto;
- Maior durabilidade do sistema de combustão;
- Tubagem de extensão de menor diâmetro;
- Menor ruído de combustão.

6. Conclusões

O presente trabalho teve como principal objectivo a melhoria da eficiência energética da **Frauenthal Automotive Azambuja**, para tal foi analisado o processo fabril e os respectivos consumos em cada linha de forma a verificar onde o consumo de gás natural era mais elevado e onde era possível intervir para diminuir esse consumo e aumentar a eficiência energética.

Actualmente esta fábrica gasta mensalmente em gás natural **€120000**, o que tem vindo a aumentar nos últimos anos, daí a preocupação na diminuição do consumo de gás natural. Ao reduzir-se o consumo do mesmo vai trazer mais vantagens à fábrica, mesmo que não aumentem a produção nos próximos anos.

A grande parte do consumo concentra-se nos fornos de laminagem e de têmpera, estes dois tipos de fornos consomem 75% do gás natural consumido em toda a fábrica. Desses 75%, cerca de 35% são consumidos nos fornos de laminagem. Para esses fornos foram efectuados estudos no sentido de minimizar esse consumo, para tal foi utilizado o *software* Aspen HYSYS. Através de várias simulações e vários testes, verificou-se que a hipótese mais viável para minimizar o consumo de gás natural nestes fornos é com a introdução de permutadores de calor, que permitem recuperar o calor dos gases de combustão e utilizar para aquecer o ar à entrada, desta forma é necessário um menor caudal de gás natural para que as lâminas aqueçam à temperatura pretendida. Após testes de simulação verificou-se que num sistema ideal, isto é, sem quaisquer perdas associadas, seria possível reduzir até cerca de 46% do consumo de gás natural nos laminadores. Como não existem sistemas ideais e existem sempre perdas associadas às fendas, à radiação e condução fez-se uma estimativa que seria possível reduzir o consumo deste tipo de fornos em 20 a 30%. Com esta redução de consumo nos fornos de laminagem verificou-se ser possível reduzir o custo anual da fábrica entre 6 a 9% do actual.

Foram pensadas outras propostas de forma a melhorar a eficiência energética na fábrica. Estas sugestões são uma forma de continuidade ao trabalho elaborado e permitem que sejam estudadas e implementadas novas medidas de eficiência energética, medidas que podem vir a ser implementadas de forma gradual e contínua na fábrica.

1. Melhorar o isolamento térmico e verificar a possibilidade de um isolamento adicional no exterior dos fornos.
2. Implementação de uma cortina móvel que possa ser adaptada às várias espessuras da lâmina e que minimize a fenda nos fornos.
3. Fazer uma linha de montagem única, juntando os fornos de laminagem e enrolamento, desta forma a metade da lâmina trabalhada não sofria arrefecimento forçado e desnecessário.
4. Implementação de um forno único, totalmente fechado, que trabalhe a totalidade das lâminas.
5. Implementação de injeção de ar quente nas lâminas antes das mesmas entrarem no forno.

6. Desligar os queimadores em áreas não utilizadas.
7. Criar uma zona em torno dos fornos que permita isolar o ar circulante.
8. Haver uma cuidada manutenção nos queimadores.
9. Aproveitar os gases de combustão para aquecimento de outras zonas da fábrica, como balneários e escritórios.

O estudo da eficiência energética envolve uma importante área da engenharia química, a transferência de calor e os balanços energéticos associados à mesma, nesse sentido este trabalho permite apresentar um estudo detalhado dos consumos de gás natural da Frauenthal Automotive Azambuja e apresentar formas para minimizar esses consumos de gás natural mantendo a produção com a qualidade que é característica na mesma.

7. Referências Bibliográficas

Aspen HYSYS - User Guide, aspentech, versão V7.3, 2011.

Continuous Improvement, Energy Workshop_Report, Frauenthal Group, 2010.

Green, D. W., Perry, R. H., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8ªEdição, McGraw-Hill, 2008.

<http://maps.google.pt> – Consultado a 25-02-2014.

<http://www.racius.com/frauenthal-automotive-azambuja-unipessoal-lda> - Consultado a 29-11-2013.

<http://en.frauenthal-automotive.com/> - Consultado regularmente.

Mangueijo, V., Fernandes, C., Matos, H. A., Nunes, C. P., Calau, J. P., Carneiro, J., Oliveira, F., *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*, ADENE – Agência para a Energia, 2010.

Pereira, L. M., *Prospecto de Acolhimento: Ambiente, Higiene e Segurança – D58_SUP5_SI*, Styria Impormol, S.A., 2009.

Pereira, L. M., *SI Befor_After Energy 406*, Frauenthal Automotive, 2012.

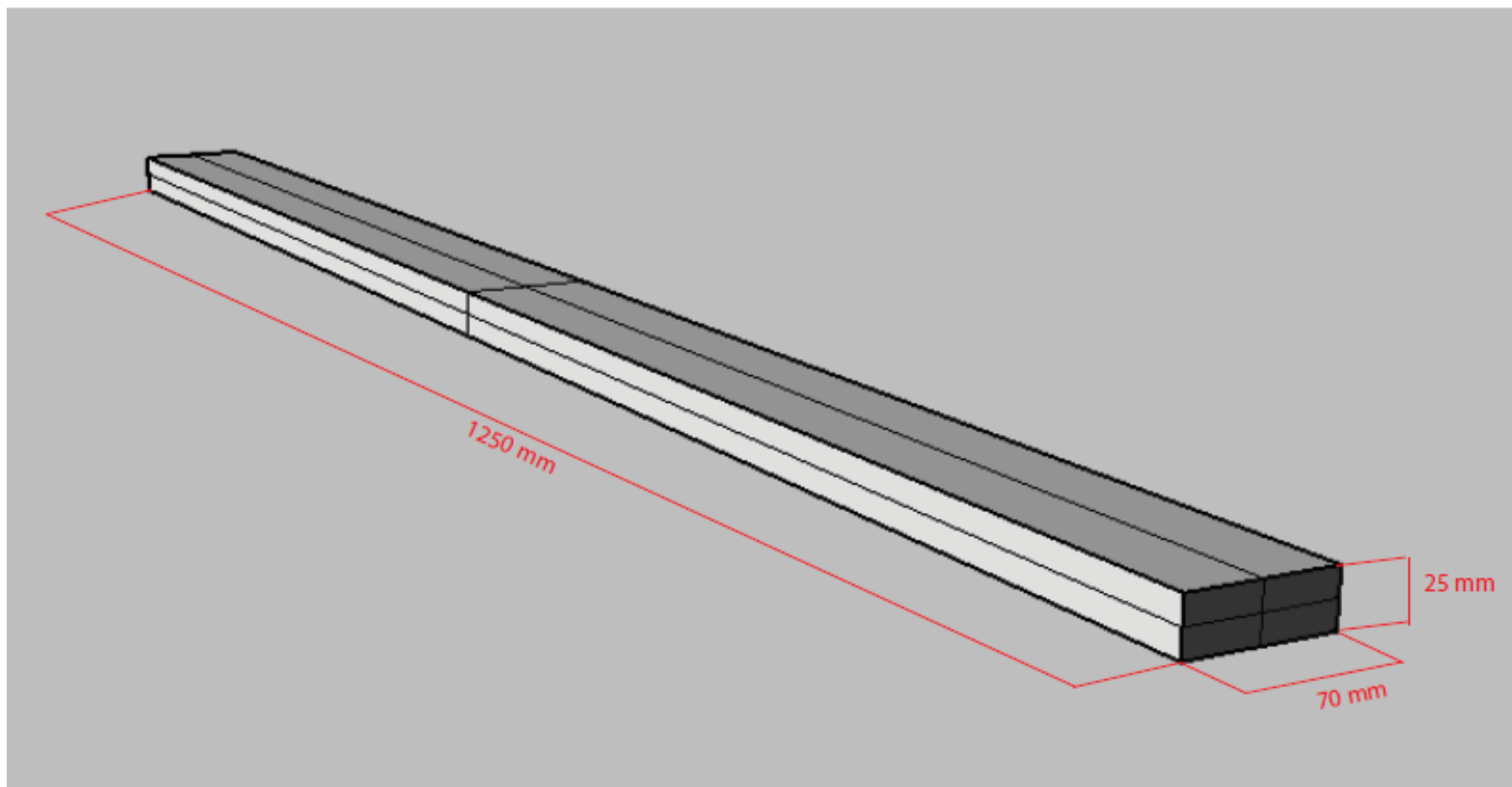
Rosa, G., Loureiro, J., *Auditoria Energética Styria Impormol, S.A.*, Iberdrola, 2009.

Sustainability Report according to the Global Reporting Initiative's G3 Framework, Styria Impormol, S.A., 2006.

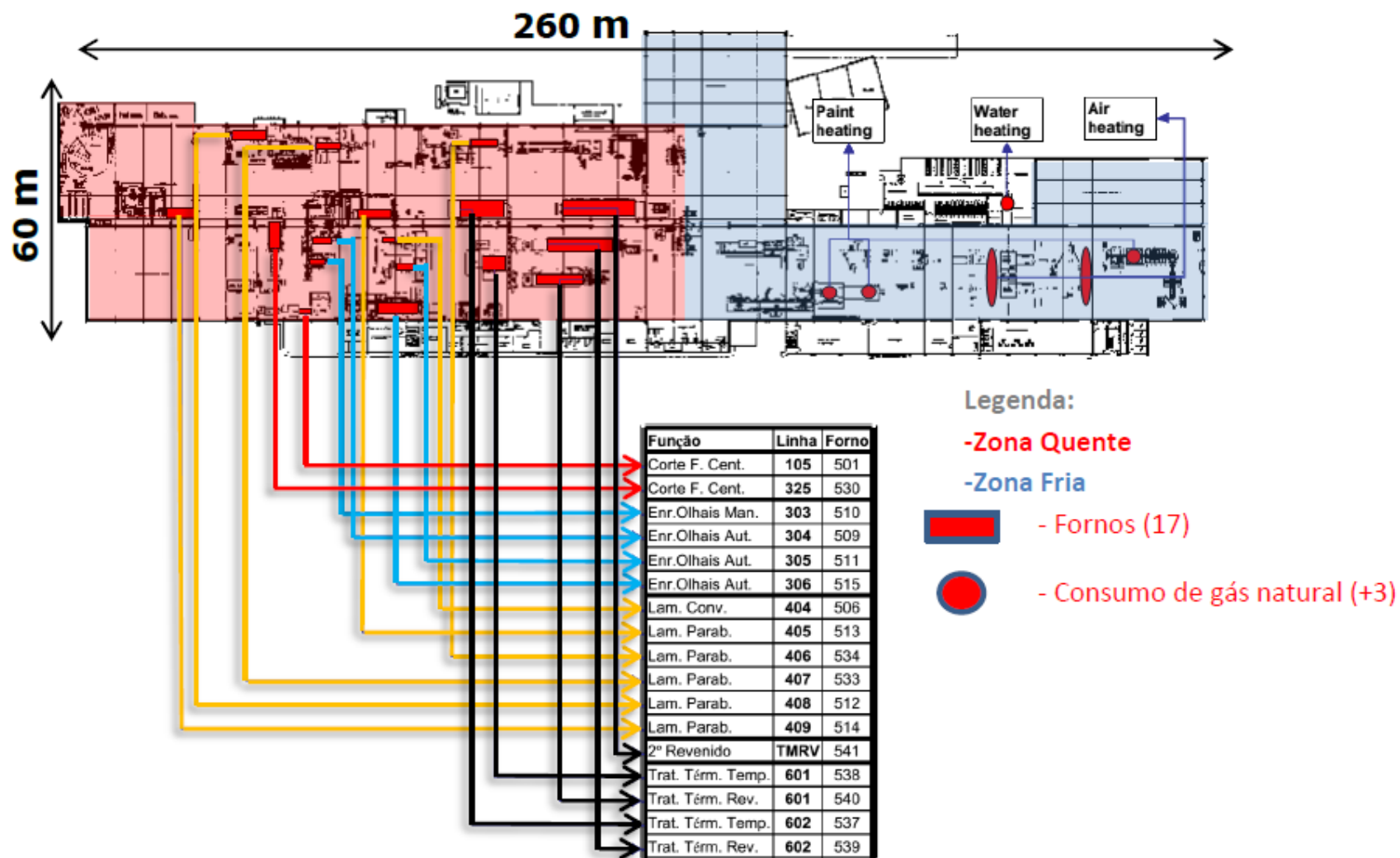
Trindade, T., Silva, J. M., Palmeira, V., Anastácio, P., *Laboratórios Integrados 4A - Módulo de Simulação - 1ªAula - Introdução à Simulação de Processos*, ISEL, 2008.

Vendeirinho, G., *Melhoria do Desempenho Energético da Frauenthal Automotive Azambuja*, Relatório Final de Estágio, GalpEnergia, 2013.

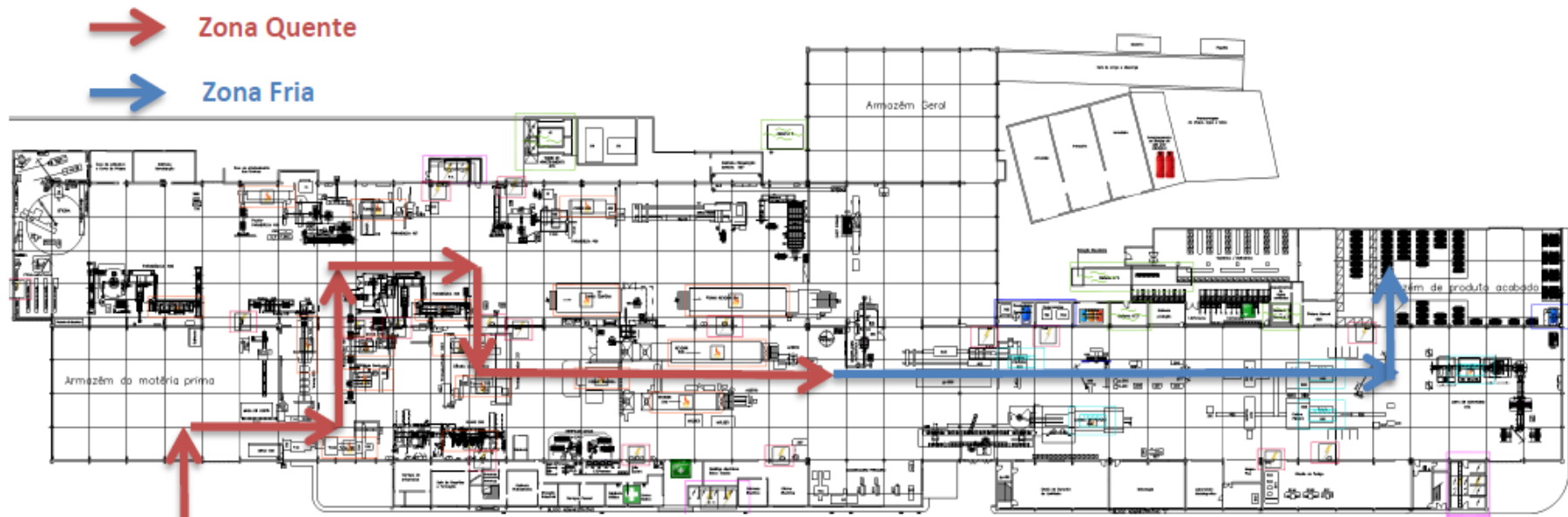
ANEXO A – Exemplo de uma lâmina e respectivas dimensões



ANEXO B – Planta da fábrica com indicação das 2 zonas (quente e fria) e linhas de produção da zona quente (**Fonte:** Vendeirinho, 2013)



ANEXO C – Planta da fábrica com indicação do percurso geral do material (**Fonte:** Vendeirinho, 2013)



ANEXO D – Medições e grandezas termofísicas

As medições efectuadas em diferentes correntes do processo, os resultados obtidos e as grandezas termofísicas com base na análise a cada forno são apresentadas nos seguintes quadros.

Forno 511 / Linha 305

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gás Natural		
PCI	45100	kJ/kg	Base
ρ	0,84	kg/m ³	Base
$m_{média}$	0,0034	kg/s	Cálculo
$Q_{média}$	154,51	kW	Cálculo
Fluxo	Lâminas		
$T_{entrada}$	297,15	K	Medição
$T_{saída}$	720,15	K	Medição
C_p	0,503	kJ/kg K	Base
$m_{média}$	0,5322	kg/s	Cálculo
$Q_{média}$	113,24	kW	Cálculo
Peça Aquecida	0,25		Base
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
A_1	0,0875	m ²	Cálculo
A_2	0,0313	m ²	Cálculo
A_3	0,0018	m ²	Cálculo
$K_{aço}$	45,33	W/mK	Base
$Q_{final_média}$	29,18	kW	Cálculo
Fluxo	Radiação Fendas		
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
$T_{ambiente}$	297,15	K	Medição
T	1180,15	K	Medição
A	0,12	m ²	Cálculo
Q	11,59	kW	Cálculo
Fluxo	Convecção + Radiação		
U	0,0113		Cálculo
$T_{ambiente}$	294,15	K	Medição
T	344,15	K	Medição
A	16,50	m ²	Cálculo
Q	9,35	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Exaustão		
C_p	1,056	kJ/kg K	Base
m	0,2560	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	607,15	K	Medição
Q	84,62	kW	Cálculo

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gases de Fuga		
C_p	1,056	kJ/kg K	Base
m	0,0770	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	607,15	K	Medição
Q	25,45	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Queima		
C_p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,160	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	294,15	K	Medição
Q	0,00	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Infiltrado		
C_p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,167	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	294,15	K	Medição
Q	0,00	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Combustão		
Q	110,07	kW	Cálculo
Fluxo	Erro de Fecho		
	-5,68	kW	Cálculo
	-3,68	%	Cálculo
Fluxo	Eficiência Energética		
η	15,21	%	Cálculo

	LÂMINAS										
	Qtd produzida (kg)	Horas produção (h)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)	1/4 Q (kW)	Perdas Radiação (W)	Perdas Condução (W)	Perdas totais (kW)	Q final (kW)	
2012	Janeiro	716893,76	291,574	2458,702628	0,682972952	145,3154721	36,32886801	814,6313359	55,92176431	0,8705531	37,19942112
	Fevereiro	327179,14	152,247	2149,002214	0,596945059	127,0114033	31,75285083	814,6313359	55,92176431	0,8705531	32,62340393
	Março	431741,7	193,603	2230,036208	0,619454502	131,800715	32,95017875	814,6313359	55,92176431	0,8705531	33,82073185
	Abril	499860	220,93	2262,526592	0,628479609	133,7209779	33,43024448	814,6313359	55,92176431	0,8705531	34,30079758
	Maio	593376,75	250,596	2367,862017	0,657739449	139,9465649	34,98664121	814,6313359	55,92176431	0,8705531	35,85719431
	Junho	741750,14	345,748	2145,34904	0,595930289	126,7954917	31,69887291	814,6313359	55,92176431	0,8705531	32,56942601
	Julho	507097,77	224,299	2260,811551	0,628003209	133,6196147	33,40490367	814,6313359	55,92176431	0,8705531	34,27545677
	Agosto	505498,28	139	3636,678273	1,010188409	214,9367777	53,73419441	814,6313359	55,92176431	0,8705531	54,60474751
	Setembro	608813,76	264,34	2303,146554	0,639762932	136,1217192	34,0304298	814,6313359	55,92176431	0,8705531	34,9009829
	Outubro	374318,49	168,497	2221,51427	0,617087297	131,2970472	32,82426179	814,6313359	55,92176431	0,8705531	33,69481489
	Novembro	374254,34	152,631	2452,020494	0,681116804	144,9205412	36,23013531	814,6313359	55,92176431	0,8705531	37,10068841
	Dezembro	158692,92	71,571	2217,279624	0,615911007	131,046769	32,76169225	814,6313359	55,92176431	0,8705531	33,63224535
2013	Janeiro	317314,66	408	777,7320098	0,216036669	45,96590611	11,49147653	814,6313359	55,92176431	0,8705531	12,36202963
	Fevereiro	421645,38	384	1098,034844	0,305009679	64,89660435	16,22415109	814,6313359	55,92176431	0,8705531	17,09470419
	Março	601760,36	456	1319,649912	0,36656942	77,99460894	19,49865224	814,6313359	55,92176431	0,8705531	20,36920534
	Abril	514948,1	480	1072,808542	0,298002373	63,40566683	15,85141671	814,6313359	55,92176431	0,8705531	16,72196981
	Maio	517395,75	456	1134,639803	0,315177723	67,06004894	16,76501223	814,6313359	55,92176431	0,8705531	17,63556533
	Junho	423374,5	408	1037,682598	0,288245166	61,32963575	15,33240894	814,6313359	55,92176431	0,8705531	16,20296204
	Julho	724010,31	576	1256,962344	0,349156207	74,28961692	18,57240423	814,6313359	55,92176431	0,8705531	19,44295733

GÁS NATURAL			
	Caudal Volumétrico (m3/h)	Caudal Mássico(kg/h)	Caudal mássico (kg/s)
2012	Janeiro	18,36171949	15,42384438
	Fevereiro	16,11920104	13,54012887
	Março	16,57309029	13,92139585
	Abril	16,54958584	13,90165211
	Maio	17,67266836	14,84504142
	Junho	15,16335597	12,73721902
	Julho	16,19757556	13,60596347
	Agosto	29,18417266	24,51470504
	Setembro	16,99629265	14,27688583
	Outubro	16,52195588	13,87844294
	Novembro	19,21955566	16,14442675
	Dezembro	18,36917187	15,43010437
2013	Janeiro	7,518137255	6,315235294
	Fevereiro	7,990364583	6,71190625
	Março	10,37982456	8,719052632
	Abril	9,01	7,5684
	Maio	9,014473684	7,572157895
	Junho	9,259558824	7,778029412
	Julho	8,861805556	7,443916667

RADIAÇÃO FENDAS			
A (m2)	Até Maio'12	A partir Junho'12	Redução (%)
	0,15	0,12	
Q (W) Q (kW)	14492,48 14,49	11593,98 11,59	

FECHO		
Até Maio'12 A partir Junho'12	kW	%
	-8,58	-5,55
	-5,68	-3,68

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
Até Maio'12 A partir Junho'12	kW	%
	0,13	13,33
	0,15	15,21

Forno 512 / Linha 408

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gás Natural		
PCI	45100	kJ/kg	Base
ρ	0,84	kg/m ³	Base
$m_{\text{média}}$	0,0116	kg/s	Cálculo
$Q_{\text{média}}$	521,04	kW	Cálculo
Fluxo	Lâminas		
T_{entrada}	293,15	K	Medição
$T_{\text{saída}}$	1193,15	K	Medição
C_p	0,503	kJ/kg K	Base
$m_{\text{média}}$	0,8960	kg/s	Cálculo
$Q_{\text{média}}$	405,61	kW	Cálculo
Peça Aquecida	0,5		Base
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
A_1	0,0875	m ²	Cálculo
A_2	0,0313	m ²	Cálculo
A_3	0,0018	m ²	Cálculo
$K_{\text{aço}}$	45,33	W/mK	Base
$Q_{\text{final_média}}$	215,33	kW	Cálculo
Fluxo	Radiação Fendas		
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
T_{ambiente}	348,15	K	Medição
T	1176,15	K	Medição
A	0,13	m ²	Cálculo
Q	12,71	kW	Cálculo
Fluxo	Convecção + Radiação		
U	0,0180		Cálculo
T_{ambiente}	299,15	K	Medição
T	1176,15	K	Medição
A	0,16	m ²	Cálculo
Q	2,58	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Exaustão		
C_p		kJ/kg K	Base
m		kg/s	Cálculo
T_{entrada}		K	Medição
$T_{\text{saída}}$		K	Medição
Q	0,00	kW	Cálculo

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gases de Fuga		
C_p	1,103	kJ/kg K	Base
m	0,4850	kg/s	Cálculo
T_{entrada}	294,15	K	Medição
$T_{\text{saída}}$	822,15	K	Medição
Q	282,46	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Queima		
C_p	1,015	kJ/kg K	Base
m	0,330	kg/s	Cálculo
T_{entrada}	294,15	K	Medição
$T_{\text{saída}}$	405,15	K	Medição
Q	37,18	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Infiltrado		
C_p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,138	kg/s	Cálculo
T_{entrada}	294,15	K	Medição
$T_{\text{saída}}$	299,15	K	Medição
Q	0,69	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Combustão		
Q	244,58	kW	Cálculo
Fluxo	Erro de Fecho		
	7,95	kW	Cálculo
	1,53	%	Cálculo
Fluxo	Eficiência Energética		
η	50,12	%	Cálculo

LÂMINAS											
		Qtd produzida (kg)	Horas produção (h)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)	1/2 Q (kW)	Perdas Radiação (W)	Perdas Condução (W)	Perdas totais (kW)	Q final (kW)
2012	Janeiro	704925,62	316,695	2225,881747	0,618300485	279,9046297	139,9523149	12416,73276	114,2231782	12,53095594	152,4832708
	Fevereiro	729878,07	313,349	2329,281632	0,647022675	292,9071652	146,4535826	12416,73276	114,2231782	12,53095594	158,9845385
	Março	855193,7	351,262	2434,631984	0,676286662	306,154972	153,077486	12416,73276	114,2231782	12,53095594	165,6084419
	Abril	756833	311,74	2427,769936	0,674380538	305,2920695	152,6460348	12416,73276	114,2231782	12,53095594	165,1769907
	Maio	802174,17	338,364	2370,743253	0,658539792	298,120964	149,060482	12416,73276	114,2231782	12,53095594	161,591438
	Junho	798526,94	379,705	2103,019291	0,584172025	264,4546759	132,2273379	12416,73276	114,2231782	12,53095594	144,7582939
	Julho	646773,49	256,257	2523,925161	0,701090323	317,383589	158,6917945	12416,73276	114,2231782	12,53095594	171,2227504
	Agosto	625590,97	352	1777,247074	0,493679743	223,4888195	111,7444098	12416,73276	114,2231782	12,53095594	124,2753657
	Setembro	746587,48	306,271	2437,669515	0,677130421	306,5369415	153,2684707	12416,73276	114,2231782	12,53095594	165,7994267
	Outubro	467851,03	198,268	2359,690066	0,655469463	296,7310258	148,3655129	12416,73276	114,2231782	12,53095594	160,8964688
	Novembro	588790,12	248,082	2373,368967	0,659269157	298,4511476	149,2255738	12416,73276	114,2231782	12,53095594	161,7565297
	Dezembro	294651,99	123,029	2394,979964	0,665272212	301,1687305	150,5843652	12416,73276	114,2231782	12,53095594	163,1153212
2013	Janeiro	661977,48	202,6479242	3266,638346	0,90739954	410,779772	205,389886	12416,73276	114,2231782	12,53095594	217,9208419
	Fevereiro	697485,46	189,0165536	3690,076063	1,025021129	464,0270649	232,0135325	12416,73276	114,2231782	12,53095594	244,5444884
	Março	832851,16	175,385183	4748,697386	1,319082607	597,1486963	298,5743482	12416,73276	114,2231782	12,53095594	311,1053041
	Abril	710461,61	161,7538124	4392,24028	1,220066744	552,3242152	276,1621076	12416,73276	114,2231782	12,53095594	288,6930635
	Maio	863875,17	148,1224417	5832,169386	1,620047052	733,3953003	366,6976501	12416,73276	114,2231782	12,53095594	379,2286061
	Junho	678145,07	134,4910711	5042,305519	1,400640422	634,069919	317,0349595	12416,73276	114,2231782	12,53095594	329,5659154
	Julho	792126,32	120,8597005	6554,097991	1,820582775	824,1778223	412,0889112	12416,73276	114,2231782	12,53095594	424,6198671

GÁS NATURAL					
		Caudal Volumétrico (m3/h)	Caudal Mássico(kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)
2012	Janeiro	63,23528947	53,11764316	0,014754901	665,4460296
	Fevereiro	58,24751316	48,92791105	0,013591086	612,9579968
	Março	51,59966065	43,34371495	0,012039921	543,0004289
	Abril	51,20581254	43,01288253	0,011948023	538,8558339
	Maio	56,43360405	47,4042274	0,013167841	593,8696266
	Junho	46,94776208	39,43612015	0,010954478	494,0469496
	Julho	42,16157998	35,41572718	0,009837702	443,68036
	Agosto	25,68863636	21,57845455	0,005994015	270,3300833
	Setembro	33,15527752	27,85043311	0,007736231	348,9040371
	Outubro	31,04182218	26,07513063	0,007243092	326,6634421
	Novembro	32,51626478	27,31366242	0,007587128	342,1794931
	Dezembro	31,39422413	26,37114827	0,007325319	330,3718852
2013	Janeiro	45,99454959	38,63542165	0,010732062	484,0159768
	Fevereiro	45,08599822	37,87223851	0,010520066	474,4549879
	Março	60,70125092	50,98905077	0,014163625	638,7794972
	Abril	59,40076379	49,89664158	0,013860178	625,0940376
	Maio	72,58454475	60,97101759	0,016936394	763,8313593
	Junho	60,48059498	50,80369979	0,014112139	636,4574612
	Julho	72,86547928	61,20700259	0,017001945	766,7877269

RADIÇÃO FENDAS			
A (m2)	Até Maio'12	A partir Junho'12	Redução (%)
	0,16	0,13	
Q (W)	15891,80	12713,44	
Q (kW)	15,89	12,71	20

FECHO		
Até Maio'12	kW	%
	4,77	0,92
A partir Junho'12	7,95	1,53

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
Até Maio'12	kW	%
	0,50	49,51
A partir Junho'12	0,50	50,12

Forno 513 / Linha 405

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gás Natural		
PCI	45100	kJ/kg	Base
ρ	0,84	kg/m ³	Base
$m_{média}$	0,0067	kg/s	Cálculo
$Q_{média}$	304,25	kW	Cálculo
Fluxo	Lâminas		
$T_{entrada}$	297,15	K	Medição
$T_{saída}$	1193,15	K	Medição
C_p	0,503	kJ/kg K	Base
$m_{média}$	0,4346	kg/s	Cálculo
$Q_{média}$	195,87	kW	Cálculo
Peça Aquecida	0,5		Base
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
A_1	0,0875	m ²	Cálculo
A_2	0,0313	m ²	Cálculo
A_3	0,0018	m ²	Cálculo
$K_{aço}$	45,33	W/mK	Base
$Q_{final_média}$	110,46	kW	Cálculo
Fluxo	Radiação Fendas		
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
$T_{ambiente}$	294,15	K	Medição
T	1193,15	K	Medição
A	0,20	m ²	Cálculo
Q	20,77	kW	Cálculo
Fluxo	Convecção + Radiação		
U	0,0117		Cálculo
$T_{ambiente}$	294,15	K	Medição
T	358,4	K	Medição
A	32,70	m ²	Cálculo
Q	24,66	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Exaustão		
C_p	1,008	kJ/kg K	Base
m	0,2610	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	758,85	K	Medição
Q	122,26	kW	Cálculo

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gases de Fuga		
C_p	1,088	kJ/kg K	Base
m	0,2300	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	758,85	K	Medição
Q	116,29	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Queima		
C_p	1,010	kJ/kg K	Base
m	0,452	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	357,15	K	Medição
Q	28,76	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Infiltrado		
C_p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,024	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	294,55	K	Medição
Q	0,01	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Combustão		
Q	209,77	kW	Cálculo
Fluxo	Erro de Fecho		
	-90,20	kW	Cálculo
	-29,65	%	Cálculo
Fluxo	Eficiência Energética		
η	16,12	%	Cálculo

		LÂMINAS									
		Qtd produzida (kg)	Horas produção (h)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)	1/2 Q (kW)	Perdas Radiação (W)	Perdas Condução (W)	Perdas totais (kW)	Q final (kW)
2012	Janeiro	691187,42	396,163	1744,704629	0,484640175	218,4215111	109,2107555	12414,20299	113,7155196	12,52791851	121,7386741
	Fevereiro	449881,81	274,249	1640,413675	0,455670465	205,3652107	102,6826053	12414,20299	113,7155196	12,52791851	115,2105239
	Março	611916,24	387,032	1581,048182	0,439180051	197,9331786	98,96658932	12414,20299	113,7155196	12,52791851	111,4945078
	Abril	597582	356,91	1674,321257	0,465089238	209,6101386	104,8050693	12414,20299	113,7155196	12,52791851	117,3329878
	Maió	661126,17	358,946	1841,854123	0,511626145	230,5837642	115,2918821	12414,20299	113,7155196	12,52791851	127,8198006
	Junho	659489,08	395,712	1666,588529	0,462941258	208,6420697	104,3210349	12414,20299	113,7155196	12,52791851	116,8489534
	Julho	679758,69	355,58	1911,689887	0,531024969	239,326581	119,6632905	12414,20299	113,7155196	12,52791851	132,191209
	Agosto	598181,98	188	3181,819043	0,883838623	398,3354613	199,1677306	12414,20299	113,7155196	12,52791851	211,6956492
	Setembro	664411,66	369,949	1795,95474	0,498876317	224,8375694	112,4187847	12414,20299	113,7155196	12,52791851	124,9467032
	Outubro	565259,59	378,714	1492,57643	0,414604564	186,8573017	93,42865083	12414,20299	113,7155196	12,52791851	105,9565693
	Novembro	649271,61	346,326	1874,741169	0,520761436	234,70093	117,350465	12414,20299	113,7155196	12,52791851	129,8783835
	Dezembro	311539,22	183,268	1699,910623	0,472197395	212,8136996	106,4068498	12414,20299	113,7155196	12,52791851	118,9347683
2013	Janeiro	336921,67	432	779,9112731	0,21664202	97,63795885	48,81897943	12414,20299	113,7155196	12,52791851	61,34689794
	Fevereiro	484975,21	432	1122,627801	0,311841056	140,5430218	70,27151088	12414,20299	113,7155196	12,52791851	82,79942939
	Março	475506,64	480	990,6388333	0,275177454	124,0191763	62,00958813	12414,20299	113,7155196	12,52791851	74,53750664
	Abril	615109,52	504	1220,455397	0,339015388	152,7901672	76,3950836	12414,20299	113,7155196	12,52791851	88,92300211
	Maió	625841,1	528	1185,305114	0,32925142	148,3896642	74,19483209	12414,20299	113,7155196	12,52791851	86,7227506
	Junho	466691,06	432	1080,30338	0,300084272	135,2443804	67,62219022	12414,20299	113,7155196	12,52791851	80,15010873
	Julho	685689,62	552	1242,191341	0,34505315	155,5113141	77,75565707	12414,20299	113,7155196	12,52791851	90,28357558

		GÁS NATURAL			
		Caudal Volumétrico (m3/h)	Caudal Mássico(kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)
2012	Janeiro	32,33239853	27,15921477	0,007544226	340,2446072
	Fevereiro	34,30495644	28,81616341	0,00800449	361,0024917
	Março	31,4904194	26,45195229	0,007347765	331,3841801
	Abril	32,02319913	26,89948727	0,00747208	336,9907988
	Maió	37,16520034	31,21876828	0,00867188	391,1017915
	Junho	32,03213448	26,90699296	0,007474165	337,0848285
	Julho	31,93377677	26,82437249	0,007451215	336,0497776
	Agosto	45,07828054	37,86575566	0,010518265	474,3737722
	Setembro	30,95318544	26,00067577	0,00722241	325,7306881
	Outubro	27,17987716	22,83109682	0,006341971	286,0229073
	Novembro	36,12492276	30,34493512	0,008429149	380,1546039
	Dezembro	33,35115787	28,01497261	0,007781937	350,9653513
2013	Janeiro	19,6	16,464	0,004573333	206,2573333
	Fevereiro	20,19074074	16,96022222	0,004711173	212,4738951
	Março	21,49229167	18,053525	0,005014868	226,1705493
	Abril	24,7843254	20,81883333	0,005783009	260,8137176
	Maió	21,2375	17,8395	0,004955417	223,4892917
	Junho	18,89351852	15,87055556	0,004408488	198,8227932
	Julho	19,15199275	16,08767391	0,004468798	201,5428037

RADIAÇÃO FENDAS			
A (m2)	Até Maio'12	A partir Junho'12	Redução (%)
	0,25	0,20	
Q (W)	25965,64	20772,51	20
Q (kW)	25,97	20,77	

FECHO		
Até Maio'12	kW	%
	-95,39	-31,35
A partir Junho'12	-90,20	-29,65

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
Até Maio'12	kW	%
	0,14	14,41
A partir Junho'12	0,16	16,12

Forno 514 / Linha 409

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gás Natural		
PCI	45100	kJ/kg	Base
ρ	0,84	kg/m ³	Base
$m_{média}$	0,0073	kg/s	Cálculo
$Q_{média}$	330,37	kW	Cálculo
Fluxo	Lâminas		
$T_{entrada}$	297,15	K	Medição
$T_{saída}$	1193,15	K	Medição
C_p	0,503	kJ/kg K	Base
$m_{média}$	0,4497	kg/s	Cálculo
$Q_{média}$	202,67	kW	Cálculo
Peça Aquecida	0,5		Base
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
A_1	0,0875	m ²	Cálculo
A_2	0,0313	m ²	Cálculo
A_3	0,0018	m ²	Cálculo
$K_{aço}$	45,33	W/mK	Base
$Q_{final_média}$	113,86	kW	Cálculo
Fluxo	Radiação Fendas		
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
$T_{ambiente}$	294,15	K	Medição
T	1193,15	K	Medição
A	0,09	m ²	Cálculo
Q	9,15	kW	Cálculo
Fluxo	Perdação + Radiação		
U	0,0118		Cálculo
$T_{ambiente}$	294,15	K	Medição
T	360,15	K	Medição
A	32,70	m ²	Cálculo
Q	2,58	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Exaustão		
C_p	1,078	kJ/kg K	Base
m	0,2390	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	714,95	K	Medição
Q	108,42	kW	Cálculo

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gases de Fuga		
C_p		kJ/kg K	Base
m		kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$		K	Medição
$T_{saída}$		K	Medição
Q	0,00	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Queima		
C_p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,313	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	294,55	K	Medição
Q	0,13	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Infiltrado		
C_p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,249	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	294,55	K	Medição
Q	0,10	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Combustão		
Q	108,19	kW	Cálculo
Fluxo	Erro de Fecho		
	73,51	kW	Cálculo
	22,25	%	Cálculo
Fluxo	Eficiência Energética		
η	56,78	%	Cálculo

		LÂMINAS									
		Qtd produzida (kg)	Horas produção (h)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)	1/2 Q (kW)	Perdas Radiação (W)	Perdas Condução (W)	Perdas totais (kW)	Q final (kW)
2012	Janeiro	315045,05	197,433	1595,706138	0,443251705	199,7682245	99,88411223	12414,20299	113,7155196	12,52791851	112,4120307
	Fevereiro	602909,5	330,832	1822,403818	0,506223283	228,1487589	114,0743795	12414,20299	113,7155196	12,52791851	126,602298
	Março	651049,76	358,769	1814,676742	0,504076873	227,1813976	113,5906988	12414,20299	113,7155196	12,52791851	126,1186173
	Abril	687617	351,93	1953,845935	0,542734982	244,6041436	122,3020718	12414,20299	113,7155196	12,52791851	134,8299903
	Maio	677610,22	362,001	1871,846266	0,519957296	234,3385138	117,1692569	12414,20299	113,7155196	12,52791851	129,6971754
	Junho	645627,01	401,94	1606,277081	0,446188078	201,0916125	100,5458063	12414,20299	113,7155196	12,52791851	113,0737248
	Julho	712498,57	376,555	1892,150071	0,525597242	236,8803698	118,4401849	12414,20299	113,7155196	12,52791851	130,9681034
	Agosto	527447,86	218	2419,485596	0,672079332	302,8980901	151,4490451	12414,20299	113,7155196	12,52791851	163,9769636
	Setembro	638851,74	327,048	1953,38831	0,542607864	244,546853	122,2734265	12414,20299	113,7155196	12,52791851	134,801345
	Outubro	648378,25	345,669	1875,719981	0,521033328	234,8234685	117,4117343	12414,20299	113,7155196	12,52791851	129,9396528
	Novembro	441779,44	269,668	1638,23457	0,455065158	205,0924061	102,546203	12414,20299	113,7155196	12,52791851	115,0741215
	Dezembro	291969,74	168,673	1730,980892	0,480828026	216,7034212	108,3517106	12414,20299	113,7155196	12,52791851	120,8796291
2013	Janeiro	519226,8	456	1138,655263	0,316293129	142,5495176	71,27475878	12414,20299	113,7155196	12,52791851	83,8026773
	Fevereiro	597526,71	432	1383,163681	0,384212133	173,159798	86,57989901	12414,20299	113,7155196	12,52791851	99,10781752
	Março	626749,36	480	1305,727833	0,362702176	163,4655183	81,73275913	12414,20299	113,7155196	12,52791851	94,26067765
	Abril	570751,74	504	1132,443929	0,314567758	141,7719137	70,88595684	12414,20299	113,7155196	12,52791851	83,41387536
	Maio	543443,84	504	1078,261587	0,299517108	134,9887662	67,49438309	12414,20299	113,7155196	12,52791851	80,0223016
	Junho	548187,08	432	1268,951574	0,352486548	158,8614575	79,43072875	12414,20299	113,7155196	12,52791851	91,95864727
	Julho	643474,07	504	1276,734266	0,354648407	159,8357813	79,91789067	12414,20299	113,7155196	12,52791851	92,44580918

		GÁS NATURAL			
		Caudal Volumétrico (m3/h)	Caudal Mássico(kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)
2012	Janeiro	34,52158454	28,99813101	0,008055036	363,2821413
	Fevereiro	33,86764279	28,44881994	0,00790245	356,4004943
	Março	34,46089266	28,94714984	0,008040875	362,6434605
	Abril	32,52095587	27,31760293	0,007588223	342,228859
	Maio	37,62365297	31,6038685	0,008778852	395,9262415
	Junho	32,01796288	26,89508882	0,007470858	336,935696
	Julho	34,2282004	28,75168833	0,00798658	360,1947622
	Agosto	46,61146789	39,15363303	0,010876009	490,5080138
	Setembro	34,88050684	29,29962574	0,008138785	367,0592003
	Outubro	29,05033428	24,40228079	0,006778411	305,7063511
	Novembro	34,69154664	29,14089918	0,008094694	365,0707092
	Dezembro	30,55972207	25,67016654	0,007130602	321,5901419
2013	Janeiro	26,74407895	22,46502632	0,006240285	281,4368575
	Fevereiro	26,45393519	22,22130556	0,006172585	278,3835779
	Março	23,39041667	19,64795	0,005457764	246,1451514
	Abril	27,28690476	22,921	0,006366944	287,1491944
	Maio	24,36984127	20,47066667	0,005686296	256,451963
	Junho	28,17060185	23,66330556	0,00657314	296,4486335
	Julho	25,03730159	21,03133333	0,005842037	263,4758704

RADIAÇÃO FENDAS			
A (m2)	Até Maio'12 0,11	A partir Junho'12 0,09	
Q (W)	11437,25	9149,80	Redução (%) 20
Q (kW)	11,44	9,15	

FECHO		
	kW	%
Até Maio'12	71,22	21,56
A partir Junho'12	73,51	22,25

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
	kW	%
Até Maio'12	0,56	56,09
A partir Junho'12	0,57	56,78

Forno 534 / Linha 406

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gás Natural		
PCI	45100	kJ/kg	Base
ρ	0,84	kg/m ³	Base
m _{média}	0,0108	kg/s	Cálculo
Q _{média}	484,93	kW	Cálculo
Fluxo	Lâminas		
T _{entrada}	363,15	K	Medição
T _{saída}	1220,65	K	Medição
C _p	0,503	kJ/kg K	Base
m _{média}	0,4650	kg/s	Cálculo
Q _{média}	200,56	kW	Cálculo
Peça Aquecida	0,5		Base
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
A ₁	0,0875	m ²	Cálculo
A ₂	0,0313	m ²	Cálculo
A ₃	0,0018	m ²	Cálculo
K _{aço}	45,33	W/mK	Base
Q _{final_média}	113,93	kW	Cálculo
Fluxo	Radiação Fendas		
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
T _{ambiente}	298,15	K	Medição
T	1211,15	K	Medição
A	0,26	m ²	Cálculo
Q	28,01	kW	Cálculo
Fluxo	Convecção + Radiação		
U	0,0127		Cálculo
T _{ambiente}	299,15	K	Medição
T	407,15	K	Medição
A	19,50	m ²	Cálculo
Q	26,69	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Exaustão		
C _p	1,075	kJ/kg K	Base
m	0,2860	kg/s	Cálculo
T _{entrada}	294,15	K	Medição
T _{saída}	725,95	K	Medição
Q	132,76	kW	Cálculo

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gases de Fuga		
C _p	1,075	kJ/kg K	Base
m	0,2090	kg/s	Cálculo
T _{entrada}	294,15	K	Medição
T _{saída}	725,95	K	Medição
Q	97,01	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Queima		
C _p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,462	kg/s	Cálculo
T _{entrada}	294,15	K	Medição
T _{saída}	299,15	K	Medição
Q	2,32	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Infiltrado		
C _p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,021	kg/s	Cálculo
T _{entrada}	294,15	K	Medição
T _{saída}	299,15	K	Medição
Q	0,11	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Combustão		
Q	227,34	kW	Cálculo
Fluxo	Erro de Fecho		
	86,53	kW	Cálculo
	17,84	%	Cálculo
Fluxo	Eficiência Energética		
η	41,84	%	Cálculo

		LÂMINAS									
		Qtd produzida (kg)	Horas produção (h)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)	1/2 Q (kW)	Perdas Radiação (W)	Perdas Condução (W)	Perdas totais (kW)	Q final (kW)
2012	Janeiro	669326,16	369,429	1811,785648	0,503273791	217,0733097	108,5366549	13544,45732	108,8293059	13,65328662	122,1899415
	Fevereiro	366637,2	195,068	1879,535342	0,52209315	225,1905229	112,5952614	13544,45732	108,8293059	13,65328662	126,2485481
	Março	654513,44	345,157	1896,277462	0,526743739	227,1964266	113,5982133	13544,45732	108,8293059	13,65328662	127,2514999
	Abril	652898	340,21	1919,102907	0,533084141	229,9311843	114,9655922	13544,45732	108,8293059	13,65328662	128,6188788
	Maio	604619,7	331,989	1821,204016	0,505890004	218,2017414	109,1008707	13544,45732	108,8293059	13,65328662	122,7541573
	Junho	676474,01	384,214	1760,669861	0,489074961	210,949035	105,4745175	13544,45732	108,8293059	13,65328662	119,1278041
	Julho	640886,66	355,58	1802,369818	0,500658283	215,9451822	107,9725911	13544,45732	108,8293059	13,65328662	121,6258777
	Agosto	598181,98	188	3181,819043	0,883838623	381,2194844	190,6097422	13544,45732	108,8293059	13,65328662	204,2630288
	Setembro	550003,98	300,967	1827,4561	0,507626694	218,9508149	109,4754074	13544,45732	108,8293059	13,65328662	123,1286941
	Outubro	658327,01	366,465	1796,425334	0,499007037	215,2329628	107,6164814	13544,45732	108,8293059	13,65328662	121,269768
	Novembro	190797,65	115,431	1652,915161	0,4591431	198,0387499	99,01937496	13544,45732	108,8293059	13,65328662	112,6726616
	Dezembro	151209,44	101,416	1490,982094	0,414161693	178,6372567	89,31862834	13544,45732	108,8293059	13,65328662	102,971915
2013	Janeiro	529744,4	456	1161,720175	0,322700049	139,1877918	69,59389588	13544,45732	108,8293059	13,65328662	83,24718251
	Fevereiro	581346,14	432	1345,708657	0,37380796	161,231784	80,615892	13544,45732	108,8293059	13,65328662	94,26917862
	Março	653637,29	480	1361,744354	0,378262321	163,1530498	81,57652489	13544,45732	108,8293059	13,65328662	95,22981151
	Abril	685348,51	504	1359,818472	0,377727353	162,9223064	81,46115319	13544,45732	108,8293059	13,65328662	95,11443982
	Maio	570058,68	528	1079,656591	0,299904609	129,3556055	64,67780277	13544,45732	108,8293059	13,65328662	78,33108939
	Junho	559866,13	432	1295,986412	0,359996226	155,274472	77,637236	13544,45732	108,8293059	13,65328662	91,29052263
	Julho	783682,65	576	1360,560156	0,377933377	163,0111689	81,50558444	13544,45732	108,8293059	13,65328662	95,15887107

		GÁS NATURAL			
		Caudal Volumétrico (m3/h)	Caudal Mássico(kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)
2012	Janeiro	60,37885494	50,71823815	0,014088399	635,3868168
	Fevereiro	54,59788381	45,86222224	0,012739506	574,5517307
	Março	50,53845062	42,45229852	0,011792305	531,832962
	Abril	48,23932277	40,52103113	0,011255842	507,6384733
	Maio	55,29369949	46,44670757	0,012901863	581,874031
	Junho	47,83375931	40,18035782	0,011161211	503,3705938
	Julho	48,33005231	40,59724394	0,011277012	508,5932505
	Agosto	86,73670213	72,85882979	0,020238564	912,7592287
	Setembro	44,77135367	37,60793708	0,010446649	471,1438785
	Outubro	44,53767754	37,41164913	0,010392125	468,6848267
	Novembro	44,10773536	37,0504977	0,010291805	464,1604017
	Dezembro	51,15958034	42,97404749	0,011937235	538,3693171
2013	Janeiro	33,84583333	28,4305	0,007897361	356,1709861
	Fevereiro	33,6349537	28,25336111	0,007848156	353,9518295
	Março	36,05270833	30,284275	0,008412299	379,3946674
	Abril	34,98095238	29,384	0,008162222	368,1162222
	Maio	31,18333333	26,194	0,007276111	328,1526111
	Junho	35,65717593	29,95202778	0,008320008	375,232348
	Julho	33,67395833	28,286125	0,007857257	354,3622882

RADIAÇÃO FENDAS			
A (m2)	Até Maio'12	A partir Junho'12	Redução (%)
Q (W)	35008,17	28006,54	
Q (kW)	35,01	28,01	

FECHO		
Até Maio'12 A partir Junho'12	kW	%
	79,53 86,53	16,40 17,84

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
Até Maio'12 A partir Junho'12	kW	%
	0,40 0,42	40,40 41,84

Forno 537 / Linha 602

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gás Natural		
PCI	45100	kJ/kg	Base
ρ	0,84	kg/m ³	Base
$m_{média}$	0,0196	kg/s	Cálculo
$Q_{média}$	883,45	kW	Cálculo
Fluxo	Lâminas		
$T_{entrada}$	295,15	K	Medição
$T_{saída}$	1191,15	K	Medição
C_p	0,503	kJ/kg K	Base
$m_{média}$	0,4431	kg/s	Cálculo
$Q_{média}$	199,71	kW	Cálculo
Peça Aquecida	1		Base
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
A_1	0,0875	m ²	Cálculo
A_2	0,0313	m ²	Cálculo
A_3	0,0018	m ²	Cálculo
$K_{aço}$	45,33	W/mK	Base
$Q_{final_média}$	224,38	kW	Cálculo
Fluxo	Radiação Fendas		
σ	5,67E-08	W/m ² K ⁴	Base
ϵ	0,9		Base
$T_{ambiente}$	326,15	K	Medição
T	1191,15	K	Medição
A	0,25	m ²	Cálculo
Q	25,82	kW	Cálculo
Fluxo	Convecção + Radiação		
U	0,0117		Cálculo
$T_{ambiente}$	299,15	K	Medição
T	361,15	K	Medição
A	159,00	m ²	Cálculo
Q	115,13	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Exaustão		
C_p	1,086	kJ/kg K	Base
m	0,9630	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	753,45	K	Medição
Q	480,34	kW	Cálculo

Símbolo	Valor	Unid	Obs
Fluxo	Gases de Fuga		
C_p		kJ/kg K	Base
m		kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$		K	Medição
$T_{saída}$		K	Medição
Q	0,00	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Queima		
C_p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,751	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	299,15	K	Medição
Q	3,78	kW	Cálculo
Fluxo	Ar Infiltrado		
C_p	1,006	kJ/kg K	Base
m	0,188	kg/s	Cálculo
$T_{entrada}$	294,15	K	Medição
$T_{saída}$	299,15	K	Medição
Q	0,95	kW	Cálculo
Fluxo	Gases de Combustão		
Q	475,62	kW	Cálculo
Fluxo	Erro de Fecho		
	37,78	kW	Cálculo
	4,28	%	Cálculo
Fluxo	Eficiência Energética		
η	30,21	%	Cálculo

	LÂMINAS										
		Qtd produzida (kg)	Horas produção (h)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)	1 Q (kW)	Perdas Radiação (W)	Perdas Condução (W)	Perdas totais (kW)	Q final (kW)
2012	Janeiro	47586,15	43,5	1093,934483	0,30387069	136,9508734	136,9508734	24664,2653	0	24,6642653	161,6151387
	Fevereiro	548029,94	312,775	1752,153913	0,48670942	219,3540952	219,3540952	24664,2653	0	24,6642653	244,0183605
	Março	699264,11	386,907	1807,318322	0,502032867	226,2601889	226,2601889	24664,2653	0	24,6642653	250,9244542
	Abril	642182	346,38	1853,981177	0,514994771	232,1019635	232,1019635	24664,2653	0	24,6642653	256,7662288
	Maiο	775667,31	415,216	1868,10554	0,518918206	233,8702083	233,8702083	24664,2653	0	24,6642653	258,5344736
	Junho	709771,87	408,986	1735,442949	0,482067486	217,2620311	217,2620311	24664,2653	0	24,6642653	241,9262964
	Julho	551994,86	319,295	1728,792684	0,48022019	216,429477	216,429477	24664,2653	0	24,6642653	241,0937423
	Agosto	744921,47	378,641	1967,355543	0,546487651	246,2954263	246,2954263	24664,2653	0	24,6642653	270,9596916
	Setembro	661356,88	359,34	1840,476652	0,511243514	230,411317	230,411317	24664,2653	0	24,6642653	255,0755823
	Outubro	512421,8	271,552	1887,011696	0,524169915	236,2370909	236,2370909	24664,2653	0	24,6642653	260,9013562
	Novembro	539165,92	297,41	1812,870852	0,503575237	226,9553162	226,9553162	24664,2653	0	24,6642653	251,6195815
	Dezembro	225386,76	127,555	1766,977069	0,490826964	221,2098225	221,2098225	24664,2653	0	24,6642653	245,8740878
2013	Janeiro	416975,12	384	1085,872708	0,301631308	135,9416109	135,9416109	24664,2653	0	24,6642653	160,6058762
	Fevereiro	586636	456	1286,482456	0,357356238	161,0561681	161,0561681	24664,2653	0	24,6642653	185,7204334
	Março	623827,38	480	1299,640375	0,361011215	162,7034226	162,7034226	24664,2653	0	24,6642653	187,3676879
	Abril	665766,03	480	1387,012563	0,385281267	173,6416438	173,6416438	24664,2653	0	24,6642653	198,3059091
	Maiο	714967,77	528	1354,105625	0,376140451	169,5219878	169,5219878	24664,2653	0	24,6642653	194,1862531
	Junho	587173,37	432	1359,197616	0,377554893	170,1594597	170,1594597	24664,2653	0	24,6642653	194,823725
	Julho	751355,26	528	1423,021326	0,395283702	178,1496209	178,1496209	24664,2653	0	24,6642653	202,8138862

	GÁS NATURAL				
	Caudal Volumétrico (m3/h)	Caudal Mássico(kg/h)	Caudal mássico (kg/s)	Q (kW)	
2012	Janeiro	269,6850575	226,5354483	0,062926513	2837,985755
	Fevereiro	96,51762449	81,07480457	0,022520779	1015,687135
	Março	84,75783586	71,19658212	0,019776828	891,9349594
	Abril	83,27848028	69,95392344	0,019431645	876,3672075
	Maiο	85,22720704	71,59085392	0,019886348	896,8743088
	Junho	75,65931352	63,55382336	0,01765384	796,188176
	Julho	67,84193102	56,98722206	0,015829784	713,9232541
	Agosto	92,19561847	77,44431952	0,021512311	970,2052251
	Setembro	70,37510465	59,11508791	0,016420858	740,5806846
	Outubro	57,74781544	48,50816497	0,01347449	607,6995111
	Novembro	85,31588793	71,66534586	0,019907041	897,8075273
	Dezembro	39,39275747	33,08991628	0,009191643	414,5431178
2013	Janeiro	158,1631453	132,8570421	0,036904734	1664,403499
	Fevereiro	57,31614583	48,1455625	0,013373767	603,156908
	Março	54,79517544	46,02794737	0,012785541	576,6278962
	Abril	55,84208333	46,90735	0,013029819	587,6448569
	Maiο	58,58520833	49,211575	0,013669882	616,5116757
	Junho	46,12121212	38,74181818	0,010761616	485,3488889
	Julho	56,2592803	47,25779545	0,013127165	592,0351597

RADIAÇÃO FENDAS			
A (m2)	Até Maio'12	A partir Junho'12	Redução (%)
	0,32	0,25	
Q (W)	32279,77	25823,82	
Q (kW)	32,28	25,82	20

FECHO		
	kW	%
Até Maio'12	31,32	3,55
A partir Junho'12	37,78	4,28

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
	kW	%
Até Maio'12	0,29	29,48
A partir Junho'12	0,30	30,21

